

Klimaschutz-Innovationen in der Industrie

Wie Innovationsprozesse in Unternehmen ablaufen: Barrieren, Treiber und Erfolgsfaktoren.

Welche Rahmenbedingungen den Erfolg von Innovationen beeinflussen: Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren, Förderungen und Regionalität in Innovationsprozessen.

Timon Wehnert, Helena Mölter,
Dr. Daniel Vallentin, Dr. Benjamin
Best

Dieser Bericht ist Ergebnis des zweiteiligen Projekts „Klimaschutz-Innovationen in der Industrie“.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag der European Climate Foundation (ECF) durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren: Wehnert, T.; Mölter, H.; Vallentin, D.; Best, B. (2019): Klimaschutz-Innovationen in der Industrie. Abschlussbericht. Wuppertal Institut, Wuppertal

Projektlaufzeit: Mai 2016 – Oktober 2016; Januar 2017 – September 2017

Projektkoordination: Timon Wehnert // Leiter Büro Berlin // Projektleiter // timon.wehnert@wupperinst.org

Autorinnen/Autoren:

Timon Wehnert
Helena Mölter
Dr. Daniel Vallentin
Dr. Benjamin Best

Impressum

Herausgeber

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal
www.wupperinst.org

Ansprechpartner

Timon Wehnert
Zukünftige Energie- und Industriesysteme
Forschungsbereich Strukturwandel und Innovation
timon.wehnert@wupperinst.org
Tel. +49 30 2887458-19
Fax +49 30 2887458-40

Stand (überarbeitete Fassung)
Mai 2019

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Zusammenfassung	4
2 Ziele und Ablauf der Studie	7
3 Methodik & Vorgehensweise	9
4 Typologie von Klimaschutz-Innovationen	12
4.1 Innovationsarten	12
4.2 Typologie-Rahmen	16
4.3 Unterscheidungsarten von Klimaschutz-Potentialen	17
4.4 Verschiedene Typen von Prozessinnovationen	19
5 Klimaschutz-Innovationen in Unternehmen	21
5.1 Zwei grundsätzliche Treiber für Klimaschutz-Innovationen	21
5.2 Barrieren industrieller Klimaschutz-Innovationen	22
5.3 Unternehmensinterne Erfolgsfaktoren	24
5.4 Externe Erfolgsfaktoren	25
5.5 Einordnung der Beispiele in einen Typologie-Rahmen	26
6 Förderliche Rahmenbedingungen für Klimaschutz-Innovationen	27
6.1 Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren: Von der Vernetzung bis zur Beratung	27
6.1.1 Arbeitsweise, Ansätze, Ziele und Zielgruppen	28
6.1.2 Erfolgsfaktoren für Klimaschutz-Promotoren	33
6.2 Förderprogramme	36
6.3 Regionale Innovationssysteme als Grundstein für Innovation	37
7 Handlungsempfehlungen und weitere Forschungsfragen	39
7.1 Erfolgsfaktoren für Klimaschutz-Innovationen in Unternehmen	39
7.2 Systematisierung von Klimaschutz-Innovationen	39
7.3 Förderung und Skalierung von Innovationen	41
7.3.1 Regionale Innovationssysteme	41
7.3.2 Öffentliche Förderprogramme	41
7.3.3 Unterstützung fördern: Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren	42
7.3.4 Radikale und disruptive Innovationen in der energieintensiven Industrie?	45
7.3.5 Änderung marktseitiger Rahmenbedingungen	46
8 Annex-Verzeichnis	48
11 Literaturverzeichnis	102

1 Zusammenfassung

Nach jahrzehntelangen, erfolgreichen Reduktionen der CO₂ Emissionen in der Industrie, ist der Trend in den letzten Jahren wieder rückläufig geworden: seit 2014 sind die Emissionen wieder angestiegen (UBA 2019). Um die deutschen Klimaziele zu erreichen ist es daher notwendig, die Anstrengungen zu verstärken und intensiver als in der Vergangenheit Innovationen für den Klimaschutz voranzutreiben: Neue Produkte und Geschäftsmodelle sowie neue Herstellungsverfahren zu entwickeln, mit denen sich Treibhausgasemissionen reduzieren lassen.

Um die deutschen Klimaziele für 2030 einzuhalten, werden hierfür gerade auch (inkrementelle) Effizienzsteigerungen nötig sein – diese werden jedoch nicht ausreichend sein. Innovationen müssen auch einen disruptiven Wandel von Strukturen und Geschäftsmodellen erwirken. Disruptive Innovationen und industrielle Konversionsprozesse bergen jedoch hohe Risiken für die etablierte Industrie. Hier stellt sich also die Frage, wie eine auf Klimaschutz ausgerichtete Innovationspolitik gestaltet werden muss, um einerseits die notwendigen CO₂ Einsparungen zu ermöglichen und andererseits die Leistungsfähigkeit der deutschen Industrie zu befördern?

Vor diesem Hintergrund widmet sich diese Studie zwei zentralen Fragestellungen:

□ **Wie laufen Klimaschutz-Innovationsprozesse ab?**

□ **Wie können Klimaschutz-Innovationen befördert werden?**

Basierend auf einer konzeptionellen Klassifizierung von Klimaschutz-Innovationen, wurden eine Reihe von existierenden Klimaschutz-Innovationen, gerade aus der energieintensiven Industrie analysiert. Vier Fallbeispiele aus verschiedenen Sektoren (Aluminiumherstellung und -verarbeitung, Herstellung neuer Kraftstoffe sowie der Verzinkung) und verschiedenen Innovationstypen werden in der Studie ausführlich beschrieben. Dabei zeigt sich, dass sich Unternehmen nicht nur an aktuellen Rahmenbedingungen orientieren, sondern Innovationen - sowohl inkrementeller wie auch radikaler Natur- im Bereich Klimaschutz auch unter der Annahme dynamischer Entwicklungen von sich verstärkenden Klimaschutzrahmenbedingungen vorantreiben. Darüber hinaus waren an allen untersuchten Fällen auch externe Promotoren unterstützend tätig. Daher wurden die möglichen Rollen von Klimaschutz-Promotoren mit unterschiedlichen regionalen und inhaltlichen Schwerpunkten gezielt analysiert.

Zentrale Ergebnisse dieser Studie

Um förderliche Rahmenbedingungen für die Industrie wirkungsvoll gestalten zu können, ist es notwendig, zu erkennen, dass es sehr unterschiedliche Innovationsprozesse gibt. Wir schlagen eine ***Unterscheidung von Klimaschutz-Innovationen in folgende Prozesstypen*** vor:

- Peripherieprozesse
- Branchenübergreifende Kernprozesse
- Spezifische Kernprozesse.

Gerade für die Entwicklung von Klimaschutz-Innovationen im Bereich der spezifischen Kernprozesse der Produktion zeigt unsere Studie einen Mangel an zielgerichteten Unterstützungsangeboten auf.

In allen von uns analysierten Fällen, spielten **öffentliche Förderprogramme** eine zentrale Rolle als Ermöglicher von Klimaschutz-Innovationen. Neben der inhaltlichen Ausrichtung auf das Ziel Klimaschutz hin, ist gerade die *Ausgestaltung* von öffentlichen Förderprogrammen zentral für deren Erfolg: Zum einen benötigen Unternehmen, gerade KMU, *kompetente Beratung zur Identifizierung geeigneter Förderprogramme* und Unterstützung bei der Antragstellung. Klimaschutz-Promotoren (s.u.) wie Effizienzagenturen etc. können diese Beratungsleistung übernehmen, benötigen aber ggf. langfristig abgesicherte Ressourcen, um dies kompetent und effektiv tun zu können. Zudem *müssen Förderprogramme* für Klimaschutz-Innovationen in der Industrie *langfristig angelegt sein*, da es oftmals zwei Jahre dauert, bis ein Programm soweit etabliert ist, dass es effizient ausgeschöpft werden kann.

Die von uns analysierten Klimaschutz-Innovationen profitierten stark von **regionalen Innovationssystemen**. Klimaschutz-Innovationen profitieren stark von der räumlichen Nähe und der Vernetzung von produzierender Industrie, Zulieferern, Anlagenbauern und Forschung. In der Förderung regionaler Innovationssysteme, etwa durch einen Cluster- bzw. Kompetenzfeldansatz genügt es jedoch nicht, ein Cluster (unter vielen) zu Klimaschutztechnologien zu etablieren. Wenn es darum geht, die deutsche Industrie insgesamt auf dem Pfad zur Dekarbonisierung zu unterstützen, müssen Ansätze entwickelt werden, um grundsätzlich alle Industriecluster am Leitbild der Dekarbonisierung auszurichten.

Klimaschutz-Promotoren stärken! Bei vielen Klimaschutz-Innovationen leisten externe Promotoren eine wichtige Unterstützungsarbeit, durch gezielte Beratung, Vermittlung von Partnern oder weiterer Beratungsleistung und Hilfe beim Akquirieren von öffentlichen Förderprogrammen. Daher war es ein Schwerpunkt dieser Studie die Ansätze verschiedener Agenturen und Netzwerke genauer zu analysieren. Es zeigt sich, dass es bereits ein breites Portfolio solcher Klimaschutz-Promotoren gibt, Es bedarf aber verstärkt an Klimaschutz-Promotoren, die gerade auch die Entwicklung von spezifischen industriellen Kernprozessen Klimaschutz-Innovationen unterstützen. Diese Prozesse sind deutlich schwerer übertragbar (bzw. skalierbar - s. Abbildung 1-1) und erfordern daher seitens der Promotoren ein anderes Know-how und auch spezifisch andere Ansätze, wie Unternehmen beraten werden (z.B. gezielte Einzelberatung).

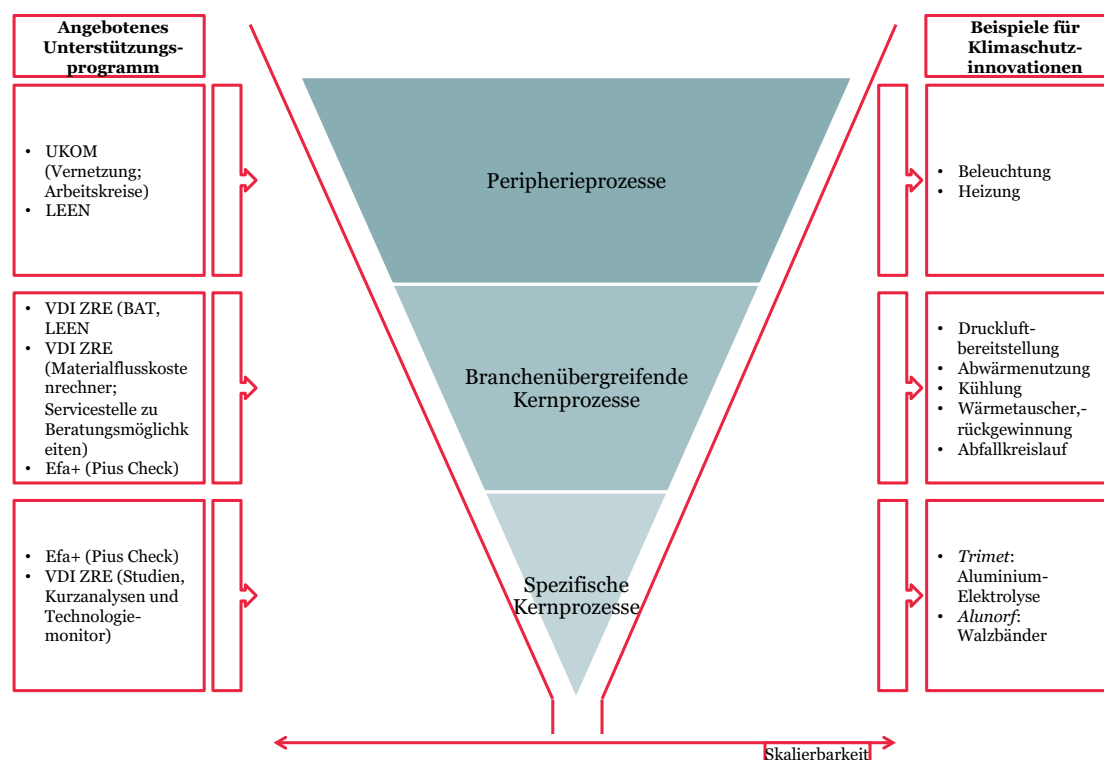


Abbildung 1-1 Wirkung von Unterstützungsangeboten von Klimaschutz-Promotoren auf Prozessinnovationen. Spalte Links: Untersuchte Klimaschutz-Promotoren/Programme; Spalte Rechts: Beispiele für Prozessinnovationen (allgemein/spezifisch)

Ausblick und Weiterer Forschungsbedarf

Die Studie zeigt konkrete Ansätze zur Förderung von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie auf. Für die Erschließung von Klimaschutz-Innovationen für spezifische Kernprozesse und generell zur Entwicklung disruptiver Innovationen in der Grundstoff- und energieintensiven Industrie besteht jedoch weiterer Unterstützungsbedarf. Um diesen durch geeignete Instrumente schließen zu können, müssen folgende offene Frage adressiert werden:

- Welche Strategien bieten sich für die Förderung disruptiver Innovationen in der Grundstoff- und energieintensiven Industrie, jenseits von finanziellen Anreizen und Förderprogrammen, an?
- Welche Unterstützungsangebote sollen externe Promotoren vermitteln, um industrielle Akteure bei disruptiven Klimaschutz-Innovationen zu unterstützen?
- Wie sollte die Innovationsförderung in eine breitere (ggf. europäische) auf Klimaschutz ausgerichtete Industriepolitik eingebettet werden?

2 Ziele und Ablauf der Studie

Die Rolle der Industrie bei der Dekarbonisierung, also eine radikale Absenkung des Kohlendioxidausstoßes, im Zuge der Energiewende ist bedeutend: Insgesamt waren Industrieprozesse im Jahr 2014 für knapp zehn Prozent der THG-Emissionen verantwortlich. Dazu kommen ca. 13 Prozent energetisch bedingte Emissionen der Industrie (UBA 2016). Die Dekarbonisierung bildet eine Voraussetzung für die künftige Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen – ob durch zunehmenden internationalen Wettbewerbsdruck mit einhergehenden steigenden Energiekosten, stärkeren Reglementierungen (wie CO₂-Emissionszertifikaten), oder auch –oftmals v.a. für endkundennahe Unternehmen von Relevanz – aus Vermarktungsgründen der eigenen Produkten. Daher besteht für die Wirtschaft die Aufgabe, die auf Produktionsweisen, Produkte und Dienstleistungen gerichtete Innovationskraft, mit Klimaschutz-Zielen zu vereinen und zu stärken.

Diese werden im Folgenden unter dem Begriff von Klimaschutz-Innovationen („Low-Carbon-Innovationen“) zusammengefasst. Eben für solche Klimaschutz-Innovationen wird in der hier vorliegenden Studie anhand von Fallstudien analysiert, *wie dabei die Innovationsprozesse im Bereich Klimaschutz in Unternehmen ablaufen* und welche betriebsinternen und externen Faktoren den Innovationsprozess befördern. Die Erkenntnisse zu dieser Forschungsfrage (Projektteil 1) zeigen, dass Unternehmen teilweise schon sehr aktiv sind und etwaige Unterstützungsangebote annehmen. Andererseits zeigt sich, dass nur bestimmte Arten von Innovationen durch institutionelle, beratende und finanzielle Angebote unterstützt werden. Diese unterstützenden Angebote – die von den Unternehmen als externe Erfolgsfaktoren eingeordnet werden – werden daher im zweiten Projektbestandteil untersucht. Somit wird die Frage betrachtet, *wie man Innovationstätigkeiten der Industrie in diesem Bereich verstärken kann* (Projektteil 2)?

Bisher standen in wissenschaftlichen, wie auch politischen Debatten hierbei vor allem die Sektoren Energie, Gebäude und Transport im Fokus. Energieintensive Branchen hingegen wie die Chemie-, Zement-, Glas-, Papier- oder Stahlindustrie, finden weit weniger Beachtung. Dies lässt sich unter anderem auf die Heterogenität und Komplexität der einzelnen Prozesse und Produkte der energieintensiven Sektoren zurückführen. Daher hat die European Climate Foundation (ECF) das Wuppertal Institut beauftragt, die vorliegende Studie zu erstellen, um sich der oben erstgenannten Forschungsfrage (*Wie laufen Klimaschutz-Innovationsprozesse ab?*) zunächst mit einer Fokussierung auf die energieintensive Industrie zu nähern. Da sich bei der vertiefenden Analyse von Klimaschutz-Innovationsprozessen zeigte, dass die Tätigkeiten von unterstützenden Akteuren sich vor allem auf mittelständische Unternehmen, statt auf eine Branche – wie die energieintensive Industrie – fokussieren, wurde für die anschließende Forschungsfrage (*Wie können Klimaschutz-Innovationen befördert werden?*) die Fokussierung aufgeweitet.

Die empirische Basis zum Projekt bildeten „Good-Practice-Beispiele“ von Klimaschutz-Innovationen sowie eine Analyse von förderlichen Rahmenbedingungen: Hierzu wurden einerseits Unternehmen (v.a. Personen, die unmittelbar in den Innovationsprozess des Unternehmens eingebunden waren) und andererseits Unterstützungsakteure befragt (sog. *Klimaschutz-Promotoren* - wie Effizienzagenturen), deren Arbeitsweisen und Einschätzungen zu existierenden Fördermechanismen betrachtet und analysiert.

3 Methodik & Vorgehensweise

Die Ergebnisse der Studie basieren auf der Synthese zweier aneinander gekoppelten Projekte. Die Ziele und Vorgehensweise dieser Projekte werden im folgenden Abschnitt kurz erläutert sowie in Abbildung 3-1 skizziert. Im Anschluss wird kurz der Aufbau der vorliegenden Studie beschrieben.

- Zunächst wurden Klimaschutz-Innovationen in der energieintensiven Industrie anhand von spezifischen Beispielen untersucht. Ausgehend von einem breiten Screening von Best-Practice Beispielen (Auszeichnungen wie Energy Efficiency Award, Industriepreis Wirtschaftsmagazinen, Best-Practice-Reports, Nachhaltigkeits- und Unternehmensberichte) wurden 38 Unternehmen und 5 Spitzen-Cluster-Regionen aus ca. 25 Branchenbereichen identifiziert und in einem iterativen Auswahlprozess schließlich vier Beispiele für eine tiefergehende Untersuchung ausgewählt, um Erfolgsfaktoren und Treiber der Entwicklung dieser Innovationen zu identifizieren. Dabei wurde, wenn möglich, auch der Einfluss regionaler Innovationssysteme auf den Entwicklungsprozess bewertet. Die Ergebnisse der Studie wurden im Oktober 2016 in einem Workshop Experten vorgestellt und diskutiert.
- Die Ergebnisse der Analyse der Innovationsprozesse in den untersuchten Fallbeispielen sowie die daraus entstandene Diskussion mit Experten im Workshop-Format gab den Anstoß, auf Klimaschutz-Innovationen förderlich wirkende Faktoren in einem zweiten Projektteil vertieft zu analysieren. Basierend auf Aussagen von Experten und Unternehmen wurden fünf verschiedene Akteure identifiziert, welche vertiefend betrachtet und analysiert wurden: Diese unterscheiden sich in ihrer regionalen Reichweite, organisationalen Struktur, Zielgruppe, Wirkungsweise („*Welche Innovationen werden befördert?*“) und ihren methodischen Ansätzen. Die Divergenz der Akteure erschwert die Vergleichbarkeit unter diesen, ermöglicht jedoch ein breites Spektrum an Arbeitsweisen und Zielstellungen von Akteuren abzubilden. Insgesamt wurden vornehmlich Akteure mit starker regionaler Orientierung analysiert, da sich aus den Ergebnissen des vorangegangenen Projektteils eine regionale Verwurzelung und Vernetzung mit Institutionen und anderen Unternehmen als Erfolgsfaktor von Innovationen zeigte. Um einerseits den Arbeitsansatz und die Tätigkeitsweise der Akteure nachvollziehen zu können sowie andererseits deren Verständnis von Klimaschutz-Innovationsprozessen und –typen abzufragen, wurden Interviews mit diesen durchgeführt. Hieraus wurden Handlungsempfehlungen an politische Institutionen abgeleitet sowie Fragen an diese aufgeworfen.

Hierbei ist insgesamt zu berücksichtigen, dass die Auswahl der Fallstudien beider Projektteile keine hinreichend große Stichprobe darstellt, um verallgemeinerbare Aussagen zu treffen. Dennoch zeigen die Aussagen der Inter-

viewpartner klar zu benennende Erfolgsfaktoren und daraus ableitbare Handlungsempfehlungen auf.

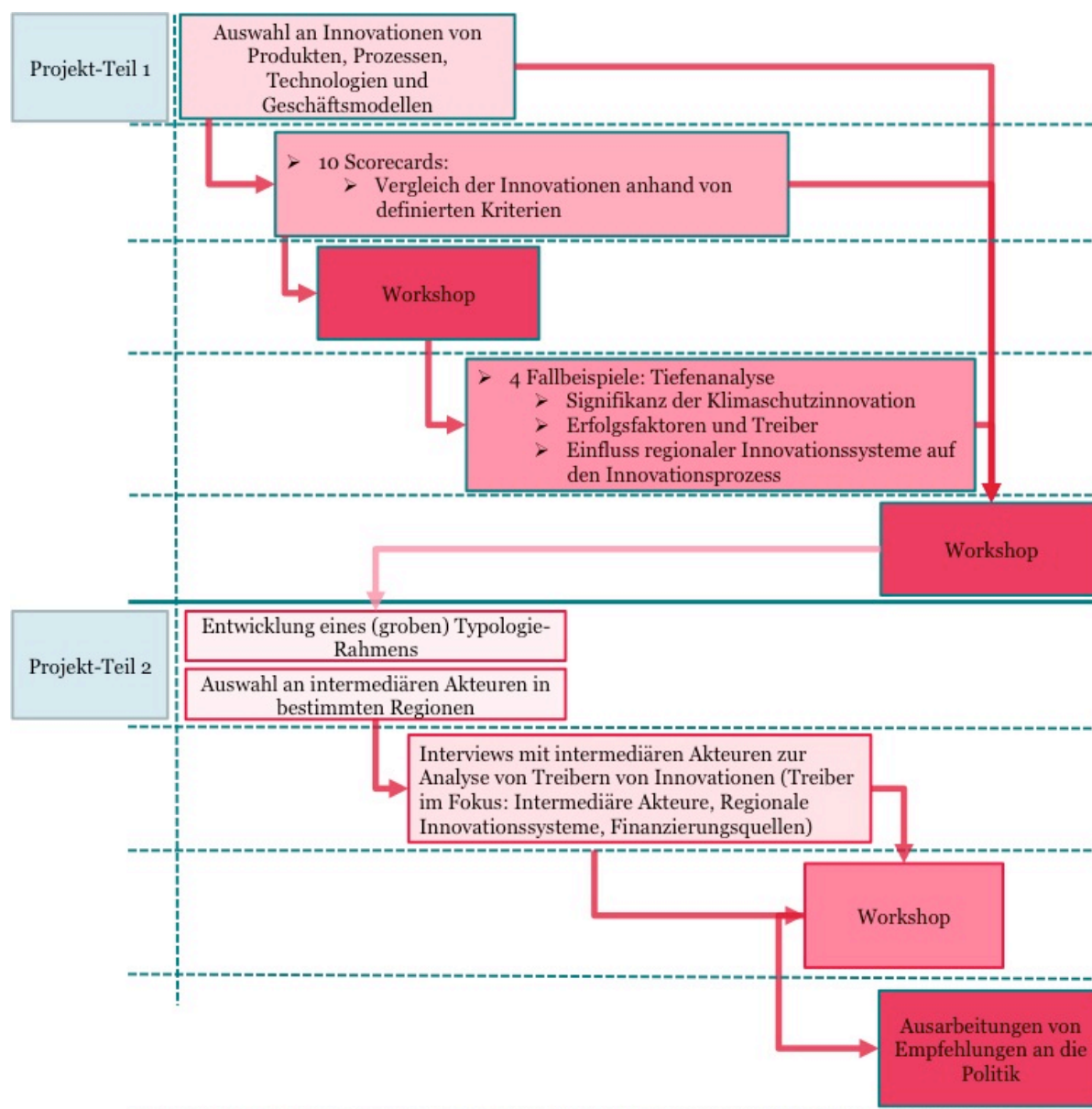


Abbildung 3-1 Skizzierung des Projekt-Ablaufs

Zunächst wird im folgenden Kapitel (4) eine Typologie von Klimaschutz-Innovationen eingeführt, die eine wichtige Grundlage für die weitere Analyse bildet. Weiterhin werden verschiedene Klassifizierungen für Klimaschutzpotentiale in der Industrie dargestellt und eine Typologie für Prozessinnovationen eingeführt. Kapitel 5 fasst die Ergebnisse der unternehmensspezifischen Fallstudien zusammen (eine ausführliche Darstellung der Fallbeispiele findet sich in Annex). In Kapitel 6 werden förderliche Rahmenbedingungen für Klimaschutz-Innovationen identifiziert (insbesondere in Bezug auf Förderprogramme, regionale Innovationssysteme und Klimaschutz-Promotoren. Für letztere finden sich die ausführlichen

Fallstudienbeschreibungen in Annex). Schließlich werden in Kapitel 7 Handlungsempfehlungen abgeleitet.

4 Typologie von Klimaschutz-Innovationen

Ein zentrales Ergebnis dieser Studie ist, dass eine klare Unterscheidung der unterschiedlichen Klimaschutz-Innovationen in der Industrie wichtig ist, um effektive Unterstützungsinstrumente zu entwickeln. In diesem Kapitel werden daher zunächst verschiedene Innovationsarten aus der Theorie der Innovationsforschung eingeführt. Hierauf aufbauend wird in 4.2 ein Typologierahmen entwickelt, in den die untersuchten Fallstudien eingeordnet werden. In Abschnitt 4.3 werden verschiedene Klassifizierungsmöglichkeiten für Klimaschutz-Potentiale aus der Literatur benannt. Hierauf aufbauend wird abschließend in Abschnitt 4.4 eine spezifische Unterscheidung von Prozessinnovationen eingeführt, die aus unserer Sicht dienlich ist, um den Bedarf der Industrie nach externer Unterstützung bei der Erschließung von Klimaschutzpotentialen klarer benennen zu können.

4.1 Innovationsarten

Der Begründer der Innovationsforschung, Alois Schumpeter, unterteilt den Innovationsprozess in drei Phasen: Invention, Innovation und Diffusion. Unternehmen können in allen drei Phasen aktiv sein. Sie forschen in diversen Bereichen und entwickeln neue Produkte oder auch Prozesse (Invention). Je nach Rahmenbedingungen werden diese dann weiterentwickelt, getestet und es entsteht schließlich eine Marktfähigkeit (Innovation). Im nächsten Schritt erfolgen die Markteinführung und eine sukzessive Marktdurchdringung (Diffusion). Darüber hinaus wirft auch der Bedeutungsrückgang von Technologien und Praktiken starke Herausforderungen sowohl für Unternehmen, wie auch Gesellschaft und Politik auf. Für den geplanten, absichtsvollen Ausstieg aus nicht mehr gewünschten Technologien wird auch der Begriff der "Exnovation" verwendet (Heyen, Hermwille und Wehnert 2017). Hier handelt es sich um einen neuen, in der Innovationsforschung bisher weniger stark behandelten Aspekt, der im Rahmen dieser Studie nicht weiter vertieft wird.

Innovationen lassen sich unterscheiden nach der Frage was, in welchem Umfang mit welcher Wirkung entwickelt oder erneuert wird.

Der **Veränderungsumfang** (Dreher 2013; Lefenda und Pöchlhacker-Tröscher 2014) unterscheidet zwischen *inkrementellen* und *radikalen* Innovationen: Demnach können Innovationen inkrementeller Natur sein und die stetige und schrittweise Verbesserung von bestehenden Produkten, Dienstleistungen, Prozessen oder Geschäftsmodellen darstellen. Radikale Innovationen führen hingegen zu einer deutlichen Verbesserung bestehender Kompetenzen (z.B. Technologien) innerhalb von *bestehenden Entwicklungspfaden*. Auf genauere Unterschiede zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen wird in der nachfolgenden Tabelle eingegangen.

Dimension	Inkrementelle Innovation	Radikale Innovation
Kernaktivität	Weiterentwicklung bestehender Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse	Entwicklung neuer Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse mit bislang unbekannten Eigenschaften
Ziel	Verbesserung bestehender Produkte	Einführung neuer Produkte
Gegenstand	Veränderung von Teilkomponenten des Angebots	Schaffung eines komplett neuen Angebots
Wichtige Quellen	Unternehmensstrategie, F&E-Abteilungen, Kundenanforderung, angewandte Forschung	Vision des*r Unternehmer*in, bevorstehende Marktveränderungen, „ <i>emerging technologies</i> “
Komplexität des Innovationsprozesses	Geringe Komplexität, vorrangig Einsatz bestehender Methoden und Instrumenten	Tendenziell höhere Komplexität und Einsatz neuer Methoden im Innovationsprozess
Eingesetztes Wissen	Nutzung vorhandenen Wissens	Nutzung neuen Wissens
Kunden	Hauptsächlich bestehende Kundengruppen	Hauptsächlich neue Kundengruppen
Wirkung im Unternehmen	Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit in bestehenden Märkten oder Branchen	Positionierung als Marktführer und Pionier („ <i>First Mover</i> “, „ <i>Frontrunner</i> “, ...)
Wirkung am Markt	Geringe Marktveränderung	Transformation oder Kreation von gesamten Märkten oder Branchen
Risiko	Geringe Unsicherheit, hohe Planbarkeit z.B. der Kosten	Hohe Unsicherheit, keine Planbarkeit
Wirkungszeitraum	Kurzfristig, kurzer Lebenszyklus	Mittel- und langfristig, langer Lebenszyklus
Typische Firmengröße	Großbetrieb, KMU	Start-Ups, schnell wachsende KMU
Typische Branchen	Lange Produktlebenszyklen (z.B. Automotive, Maschinen- und Anlagenbau)	Kurze Produktlebenszyklen (z.B. Computer, Internet, Konsumgüter)
Anteil an allen Innovationen	95%	5%

Tabelle 4-1 Unterscheidung zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Lefenda und Pöchhacker-Tröscher 2014)

Die Dimension der **Marktauswirkung** (Horton 2016; Christensen 1997) unterscheidet nach *erhaltenden (sustaining)* und *disruptiven* Innovationen.

- Eine *sustaining*, erhaltende oder auch evolutionäre Innovation dient dazu, die eigene Marktposition zu verteidigen. Sie soll die Wettbewerbsfähigkeit eines bereits bestehenden Angebotes erhalten. Verbesserungsinnovationen sind immer erhaltende Innovationen, ganz gleich, ob sie inkrementell oder radikal sind. Evolutionäre Innovationen können auch radikal sein: Der Übergang von Schallplatten zu CDs als Tonträger bedeutete einen kompletten Wechsel einer Technologie, aber die

beteiligten Unternehmen haben nur damit ihre traditionellen Märkte verteidigen wollen.

- *Disruptive* Innovationen führen dahingegen zu einer Entwertung alter Kompetenzen durch Ersatz aufgrund funktionaler Substitute – es werden neue Entwicklungspfade gegangen. Hierbei ist die folgende Ebene zu unterscheiden: So können Innovationen disruptiv auf einen Markt wirken, dabei jedoch für das entsprechende Unternehmen erhaltend wirken. Es wird somit differenziert zwischen der Ebene der Marktauswirkung und der Wirkung auf Unternehmen. Entscheidend dabei ist auch die Perspektive, die eingenommen wird: Das Elektroauto ist eine erhaltende Innovation für Automobilhersteller, weil sie damit ihre bisherigen Marktpositionen verteidigen wollen. Für die Mineralölindustrie ist es aber eine disruptive Innovation, weil dadurch ihr Produkt nicht mehr benötigt wird. Disruptive Innovationen können als Innovationen verstanden werden, die etablierte Märkte stören und oft in einer Verdrängung der bisherigen Marktführer resultieren. Zum Beispiel verdrängte das Automobil innerhalb kurzer Zeit um 1900 die Pferdekutsche; Erneuerbare Energien wie Solar- und Windkraftanlagen ersetzen die traditionellen Stromerzeuger wie Kohlekraftwerk, Atomkraftwerk, Gaskraftwerk. Disruptive Innovationen werden häufig (aber nicht immer) durch neue Technologien möglich, weshalb es auch den Begriff der disruptiven Technologie gibt. Da es für ein Unternehmen kaum möglich ist, sich selbst zu „disrupten“, stammen disruptive Innovationen fast immer von Startups oder von Quereinsteigern. Der Markt für digitale Musik wurde beispielsweise nicht von der Medienindustrie aufgebaut, sondern von dem Rechnerhersteller Apple. Um auf dem Markt disruptiv wirkende Innovationen hervorzubringen, gründen etablierte Unternehmen (bspw. in Deutschland der Großteil der DAX-Unternehmen) sogenannte „Labs“ oder „Acceleratoren“. Unter diesen Unternehmen lassen sich jedoch bis dato keine Unternehmen aus der Grundstoffindustrie¹ finden.

Der Begriff der disruptiven Innovation ist wohl der am meisten missverstandene und missbrauchte aller Innovationsbezeichnungen, da dieser häufig mit radikalen Innovationen verwechselt wird. (Christensen 1997) erläutert hierzu das **Inventor's Dilemma**, wonach etablierte Unternehmen wenig Anreiz haben, eigene Märkte mit „radikalen“ Technologien zu „zerstören“.

¹ Die betroffenen Prozesse in der Grundstoffindustrie können durch neue Technologien und Verfahren ersetzt werden oder über eine Nutzung von CO₂ Emissionen vermindert werden (Carbon Capture and Utilization – CCU) oder wenn sonst nicht vermeidbar, gegebenenfalls langfristig geologisch zu speichern sind (Carbon Capture and Storage – CCS). Außerdem haben Produktionsanlagen in der Industrie, insbesondere in der emissionsintensiven Grundstoffindustrie, in der Regel eine sehr lange Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten, teilweise sogar von über 50 Jahren. Deshalb ist frühzeitiges Handeln erforderlich, um Kapitalentwertung zu vermeiden.

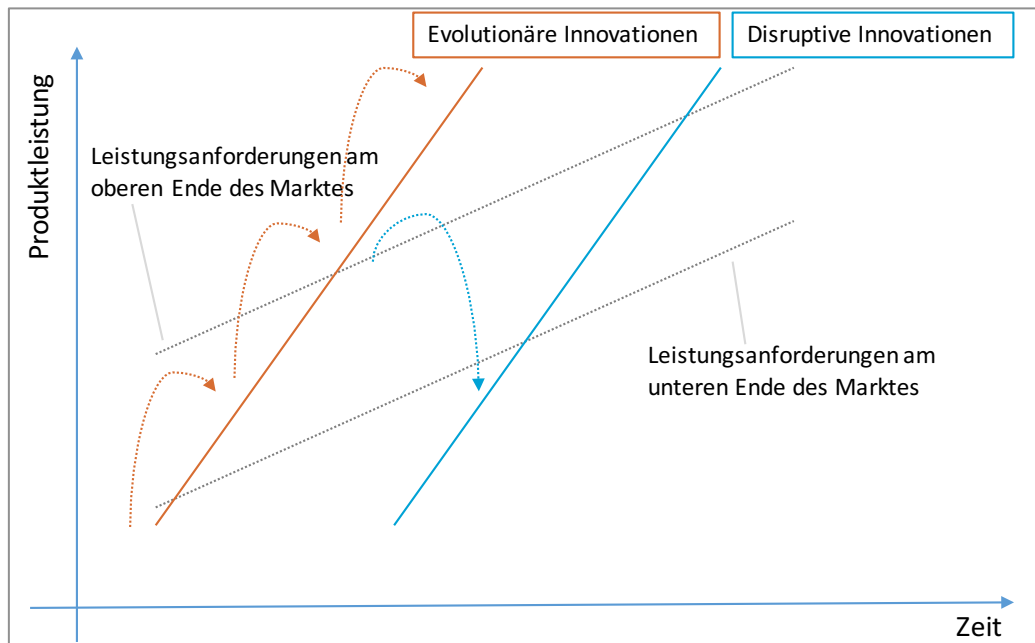


Abbildung 4-1 Disruptive Innovation nach Christensen. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Knöchelmann 2014)

Des Weiteren können die genannten Innovationstypen durch Innovations-subtypen dahingehend spezifiziert werden, auf welches Objekt (Produkt, Prozess, Geschäftsmodell, Organisation) sich die Innovation bezieht:

- Als **Produktinnovation** werden Neuerungen an Sachgütern bezeichnet (Horton 2016), wie z.B. die Entwicklung von Windenergieanlagen. Dies umfasst sowohl neue wie auch Verbesserungen bestehender Produkte.
- **Prozessinnovationen** dienen typischerweise dazu die Produktivität zu erhöhen oder Kosten zu senken (Horton 2016) und führen zu einer Verringerung des erforderlichen Inputs bei gleichbleibendem Output bzw. zu einem gleichbleibenden Input bei steigendem Output (von Hauff und Kleine 2009). Es sind Verbesserungen an betrieblichen Abläufen oder Geschäftsprozessen, die meistens in den späteren Lebensphasen eines Produktes angewandt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Die Einführung eines Kanban-Systems in der Logistik einer Produktionsabteilung ist hierfür ein Beispiel.
- **Geschäftsmodellinnovationen** ermöglichen Neuerungen an der gesamten Wertschöpfungsarchitektur: Seit einigen Jahren erfolgt ein Wandel von Technologie-Herstellern zu Dienstleistern und Anbietern, die einen bestimmten Nutzen, anstatt des Produktes verkaufen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist das Unternehmen Rolls Royce, welches anstatt des Produktes „Triebwerk“ an Flugzeughersteller, den Service „Schubstunden“ an Fluglinien verkauft. Das Triebwerk bleibt also Eigentum von Rolls Royce. Diese Art von Innovationen schließen neben dem Preismodell und der Art von Kund*innenbeziehungen auch die

Verteilung der Wertschöpfung in einem Partner*innennetzwerk mit ein (Horton 2016).

- **Organisatorische Innovationen** führen zu einer Optimierung der Ablauf- und Aufbauorganisation eines Unternehmens oder zu neuen Managementformen (wie Total Quality Management (TQM) oder Umweltmanagementkonzepte) (von Hauff und Kleine 2009). Diese werden oftmals auch soziale Innovation genannt (Horton 2016). Hierunter fallen Neuerungen bei Organisationsformen, Regeln und gesellschaftlichen Angeboten, wie bspw. der Wandel von einer starken zu einer flachen Hierarchie im Unternehmen oder der Einführung von Mitbestimmungsmöglichkeiten von Arbeitnehmer*innen an Geschäftsprozessen.

4.2 Typologie-Rahmen

Aufgrund der theoretischen Grundlagen wurde ein Typologie-Rahmen erstellt, anhand dessen eine Einordnung und Systematisierung von Innovationen möglich ist. Auf diesen wird im Kapitel 5 Bezug genommen, um die untersuchten Innovationen aus Unternehmen einzuordnen.

Der Typologie-Rahmen greift dabei die im vorangegangenen Kapitel Unterscheidungsebenen - nach dem Veränderungsumfang (inkrementell/ radikal) und nach der Marktauswirkung (erhaltend/ disruptiv) - von Innovationsarten (Prozess-, Produkt-, Geschäftsmodell- und Organisationsinnovationen) auf.

Veränderungsumfang	Marktauswirkung	Prozessinnovation	Produktinnovation	Geschäftsmodellinnovation	Organisationsinnovation
inkrementell	erhaltend				
radikal	erhaltend				
	disruptiv				

Zu beachten hierbei ist, dass inkrementelle Innovationen auch immer zugleich erhaltend im Markt wirkt, wohingegen radikale Innovationen sowohl erhaltend wie auch disruptiv wirken können.

Dabei gibt es durchaus Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Innovationsarten (Produkt-, Prozess-, Organisations- oder Geschäftsmodellinnovation) mit unterschiedlichem Umfang (inkrementell, radikal) und unterschiedlich starker Wirkungsweise auf den Markt (erhaltend, disruptiv). Es können also durchaus Innovationen in einem Bereich andere Innovationen auslösen bzw. wie ein Türöffner für weitere Innovationen wirken können (Klewitz und Hansen 2014). Dennoch halten wir eine stringente Systematisierung von unterschiedlichen Innovationstypen zentral für die gezielte Entwicklung von Förderansätzen für Innovationen.

4.3 Unterscheidungsarten von Klimaschutz-Potentialen

Die verschiedenen Quellen, die versuchen Klimaschutz-Potentiale in der Industrie quantitativ oder qualitativ zu beschreiben, ordnen dieses Reduktionspotential spezifischen Klassen zu, wobei es sich z.T. um sehr unterschiedliche Klassifizierungen handelt. Exemplarisch einige Beispiele:

- *Effizienz, Brennstoffwechsel, low-carbon (Produktions-)Prozesse:* Die Energy Technology Perspectives der IEA und AIE (2017) zeigen auf, dass Energieeffizienz und ein Wechsel von Brennstoffen kurz- und mittelfristig die CO₂-Folgenminderung am stärksten dominieren, wohingegen innovative low-carbon Prozesse zentral werden, um langfristig die Klimaschutzziele zu erreichen. Zudem wird aufgezeigt, dass das Produktionsniveau von Stahl, Aluminium und der Grundstoffchemie durch eine verstärkte Materialeffizienz-Strategie zum Jahr 2060 ggü. einem Referenz-Technologie-Szenario gesenkt werden kann.
- *Zeithorizont - kurz- bis langfristig:* Ein erheblicher Anteil der Potentiale für Energieeinsparungen und Energieeffizienz sind kurzfristig und wirtschaftlich erschließbar (Pehnt u. a. 2011). Langfristig, bis 2050, könnten energieintensive Wirtschaftszweige ihre Emissionen um mehr als 80 % senken (Pehnt u. a. 2011).
- *Querschnitts- und branchenspezifische Prozesse:* In einer Analyse von Pehnt et al. (2011) hinsichtlich Potentialen und volkswirtschaftlichen Effekten von Energieeffizienz wurde eine Unterscheidung anhand verschiedener Sektoren (Haushalte, Verkehr, Industrie, ..) und Handlungsfelder erarbeitet: Hier zeigt sich, dass sowohl das Potential wie auch der Handlungsbedarf hinsichtlich der Weiterentwicklung politischer Instrumente im Falle der Industrie für sowohl Querschnitts- wie auch branchenspezifischen Technologien ähnlich hoch ausfällt.
- *Peripherie- und Kernprozesse:* Der VDI ZRE analysiert die Energieeinsparpotentiale im Bereich von Peripherie-Technologien (vor allem Wärmerückgewinnung, Pumpen, Druckluft) z. B. durch die Nutzung von Abwärme, die intensivere Wartung der Systeme und den optimierten Einsatz von Pumpen, Kompressoren und Motoren. Vorwiegend auf Grundlage von Fallbeispielen und Expertengesprächen wird ein Energieeinsparpotential in einer Größenordnung von 15 bis 30 % mit relativ geringen Amortisationszeiten erwartet (BiPRO GmbH 2014).

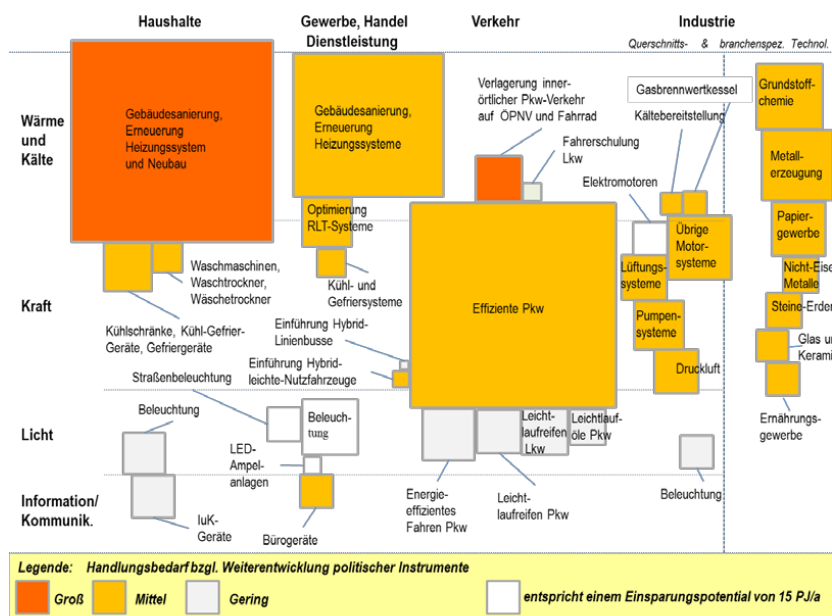


Abbildung 4-2 Klimaschutz-Potentiale und Handlungsbedarfe bzgl. der Weiterentwicklung politischer Instrumente. Quelle: (Pehnt u. a. 2011)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in der Diskussion um Klimaschutz-Innovationen vor allem anhand von Produkt-, Prozess-, Organisations- oder Geschäftsmodellinnovationen unterschieden wird und diese vor allem prozessseitig tiefer kategorisiert werden (s. folgende Tabelle). Hinsichtlich Strategien für Klimaschutz wird hauptsächlich in technologische und marktseitige Strategien kategorisiert:

	Klimaschutz-Innovationen	Klimaschutz-Strategien
Unterscheidungsebenen	Energieeffizienz – Ressourceneffizienz – Low-Carbon-Technologien (vgl. hierzu u.a. IEA und AIE 2017)	Senken der Energienachfrage
	Branchenspezifische Innovationen – Querschnittstechnologien (Pehnt u. a. 2011)	Verminderte Nutzung CO ₂ -intensiver Energieträger
	Sektorenübergreifend: Effizienzsteigerung Antriebssysteme - Effizienzmaßnahmen an Gebäuden - CCS – KWK Sektorenspezifisch: Stahl – Chemie – Zement – Mineralöl – Papier- NE-Metalle (Vahlenkamp u. a. 2007)	Import CO ₂ -freier Energie Nutzung von CCS (Hillebrandt, Samadi und Fishedick 2015)

4.4 Verschiedene Typen von Prozessinnovationen

Sowohl die Analyse der Klimaschutz-Innovationen, wie auch die Untersuchungen im Zuge der Betrachtung förderlicher Rahmenbedingungen zeigte den Bedarf einer differenzierten Unterscheidung von Innovationen in Produktionsprozessen aufgrund der Heterogenität der Innovationen wie auch der Unternehmen. Hierbei zeigte sich, dass eine Unterscheidung in Prozesse, die aus Sicht der Industrie peripher stattfinden und Prozesse, welche industrielle Kernprozesse darstellen, sinnig ist:

- **Peripherieprozesse:** Hier handelt es sich um Maßnahmen und technologische Innovationen, die nicht unmittelbar an den Produktionsprozess gekoppelt sind; also etwa Beleuchtung, Raumwärme etc. Auch wenn die Lösungen für einzelne Unternehmen angepasst werden müssen, handelt es sich doch im wesentlichen um Standardmaßnahmen (etwa ein Austausch der Beleuchtung durch moderne LEDs), die in unterschiedlichsten Branchen (von Dienstleistung über Gewerbe hin zur Industrie) anwendbar sind. Es besteht ein erhebliches Energieeffizienz- und somit Klimaschutz-Potential in vielen Unternehmen, das durch die Verbreitung von im Kern etablierten Effizienzlösungen erschlossen werden kann.
- **Branchenübergreifende Kernprozesse:** Es gibt eine Reihe von Technologien und Verfahren, die unmittelbar in unterschiedlichsten Produktionsprozessen verwendet werden. Aus Sicht der Unternehmen sind dies Kernprozesse der Produktion. Hierzu zählen etwa: Beschichtungsverfahren, Bearbeitungsprozesse wie Fräsen und Drehen, Fügeverfahren wie Schweißen und Kleben etc. Auch hier gibt es state-of-the-art Technologien, mit denen erhebliche THG-Reduktionen realisierbar sind. Die Einführung betrifft aber den Produktionsprozess selbst. Lösungen müssen daher in der Regel spezifisch angepasst werden. Der Anwendungsbereich für eine einzelne Innovation ist deutlich kleiner als bei den Peripherieprozessen und beschränkt sich auf produzierendes Gewerbe und Industrie. Die Lösungen können aber in völlig unterschiedlichen Branchen und Unternehmen zum Einsatz kommen.
- **Spezifische Kernprozesse:** Ein Teil des Klimaschutz-Potentials in der Industrie kann nur durch Innovationen in den spezifischen Produktionsprozessen erschlossen werden. Von uns untersuchte Beispiele sind etwa die Optimierung in der Aluminiumelektrolyse (s. Fallstudie Trimet) oder beim Aluminiumwalzen (s. Fallstudie Alunorf). Ein anderes Beispiel wäre etwa Gußprozesse. Hier handelt es sich um Innovationen für ganz spezifische Verfahren, die bereits beim Einsatz in anderen Werken angepasst werden müssen. Das Übertragungspotential auf andere Branchen oder Prozessschritte ist sehr gering. In gewisser Weise handelt es sich um Einzelinnovationen für einen spezifischen Produktionsprozess. Dennoch besteht hier ein erhebliches Energie- und Materialeffizienz- und somit Klimaschutz-Potential. Gerade in der energieintensiven und Grundstoffindustrie gibt es Prozessschritte, die für einen

Großteil der THG-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette verantwortlich sind.

Der Fokus dieser Studie liegt auf Klimaschutz-Innovationen für spezifische Kernprozesse in der Produktion, um strategische Ansätze explizit für die (energieintensive) Industrie zu identifizieren. Obige Unterscheidung verschiedener Prozessinnovationen ist aus unserer Sicht wichtig, um bestehende Unterstützungsangebote bewerten und ggf. Vorschläge für gezielte Angebote an die (energieintensive) Industrie entwickeln zu können.

5 Klimaschutz-Innovationen in Unternehmen

In den folgenden Kapiteln (Kapitel 5 und Kapitel 6) werden die empirischen Ergebnisse des Projekts dargelegt. Das sich anschließende Kapitel 7 greift die Ergebnisse auf und zeigt Handlungsempfehlungen sowie offene Fragen auf.

Für diese Studie wurde ein breites Screening von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie vorgenommen. Hieraus wurden vier Beispiele ausgewählt, die in Hinblick auf den Innovationsprozess detailliert analysiert wurden. Die vier Beispiele sind in Tabelle 5-1 kurz skizziert und im Annex 1 ausführlich beschrieben. Bei den Beispielen wurde ein Fokus auf energieintensive Branchen gelegt, da diese für einen erheblichen Anteil der industriellen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Die Fallbeispiele von Trimet und Alunorf sind im Aluminium-Bereich zu verorten (Herstellung/ Walzwerke), die Sunfire GmbH ist im weiteren Sinne der Chemie-Industrie zuzuordnen und die Verzinkerei Voigt & Schweitzer wiederum der Metall-Industrie.

	Trimet Aluminium SE	Alunorf GmbH	Sunfire GmbH	Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG / ZINQ
Organisationsform	Familienunternehmen, konzerunabhängig	Gemeinschaftliches Unternehmen von Novelis und Hydro Aluminium Rolled Products	Inhabergeführtes KMU	Inhabergeführtes Familienunternehmen
	2.600 Mitarbeiter	2.100 Mitarbeiter	70 Mitarbeiter	1.500 Mitarbeiter
Motivation	Erwartete zukünftige Rahmenbedingungen	Energiekosten in der Produktion senken / internes Effizienzziel	Erwartete zukünftige Rahmenbedingungen	Erschließung neuer Märkte; Konkurrenzfähigkeit erhöhen
Skalierung	Anreize für Systemdienstleistungen im Regelenenergiemarkt schaffen	Kein Patent → Anlagenbauer kann Technik verkaufen	Keine Letztverbraucherabgabe; Besteuerung; Mindestquote	Senkung der Markteintrittsbarrieren für innovative Technologien; Unterstützung von C2C etwa durch das Land
Kurzbeschreibung Innovation	1) Effizienzsteigerungen 2) Flexibilisierung bei Primäraluminium Herstellung; Nutzung des Elektrolyseprozesses als virtuelle Batterie	Energieeinsparung beim Walzen von Aluminium durch verbesserte Prozessführung und Abwärmenutzung	1) reversible Elektrolyse 2) Festoxidbrennstoffzelle → Anwendung: synthetischer Kraftstoff <i>Blue Crude</i>	1) Verbessertes Verfahren im Korrosionsschutz (Verzinkung) führt zu Materialeinsparung und Energieeffizienz (MicroZinc) 2) duroZINQ® - Innovationsbereich Cradle-to-Cradle
Innovationsarten	Inkrementelle Prozessinnovation	Inkrementelle Prozessinnovation	Radikal erhaltende Produktinnovation	Radikal erhaltende Produktinnovation
	Radikal erhaltende Produktinnovation		Radikal disruptive Geschäftsinnovation	Radikal disruptive Organisationsinnovation

Tabelle 5-1 Übersicht der untersuchten Fallstudien zu Klimaschutzinnovationen in der Industrie

5.1 Zwei grundsätzliche Treiber für Klimaschutz-Innovationen

In den untersuchten Fallstudien sind Klimaschutz-Innovationen durch die Unternehmen im Wesentlichen aus ökonomischen, betriebswirtschaftlichen Überlegungen entwickelt worden. Normative Motivationen (Klimaschutz aus ökologischer und sozialer Verantwortung heraus) mögen für einzelne beteiligte Personen eine Rolle gespielt haben, waren aber nicht als dominante Treiber erkennbar. Ein Grund hierfür könnte in der Eigentums-

und Leitungsstruktur der betrachteten Unternehmen liegen: So zeigte sich bei den – jedoch in geringer Anzahl untersuchten - eigentümergeführten Unternehmen eine Tendenz zu normativen Motivationen.

Dabei lassen sich die analysierten Fälle grob in zwei Kategorien klassifizieren:

- **Aktuelle Rahmenbedingungen** als dominanter Treiber: Die Unternehmen entwickeln Innovationen, die sich auch kurz- bis mittelfristig auszahlen. Natürlich gehen sie davon aus, dass sie durch diese Innovation langfristig ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen. Aber auch kurzfristig bringt die Innovation Vorteile, in der Regel durch Kosteneinsparungen bei Energie und Material. In diese Kategorie fallen die Beispiele Alunorf sowie Voigt & Schweitzer.
- **Zukünftige Entwicklungen** als dominanter Treiber: Grundlage dieser Innovationen ist die Annahme, dass sich die Rahmenbedingungen zukünftig ändern werden. Die Unternehmen haben Annahmen darüber, wie die Energiewende zukünftig ihr Marktumfeld verändern wird und entwickeln entsprechende Innovationen. Heute gibt es für diese Innovationen kein wirkliches Geschäftsmodell, sie sind auf Förderungen oder Venture Capital angewiesen - sie zahlen sich erst mittel- bzw. langfristig aus. Beispiele hierfür ist die Entwicklung einer neuen Technologie zur Herstellung synthetischer Treibstoffe (Sunfire) und die Flexibilisierung des Stromverbrauchs in der Elektrolyse bei der Herstellung von Rohaluminium (Trimet).

Unsere Einschätzung ist es, dass beide Arten von Innovationen gebraucht werden, um die Energiewende voran zu bringen. Auf einem Workshop mit Expert*innen wurde daher diskutiert, welche Rahmenbedingungen diese Innovationstypen benötigen um entwickelt zu werden. Hierbei wurde zwischen firmeninternen und externen Treibern unterschieden. Außerdem wurde die Frage erörtert, wie die Innovationen in die Breite getragen / skaliert werden könnten. Die Ergebnisse aus den geführten Interviews sowie aus dem Workshop werden im Folgenden dargestellt.

5.2 Barrieren industrieller Klimaschutz-Innovationen

Die Unternehmen der untersuchten Fallstudien zeigen vor allem zwei Faktoren auf, die hemmend bei der Entwicklung von Klimaschutz-Innovationen wirken: Die Rahmenbedingungen und Charakteristika des Marktes.

- **Rahmenbedingungen:** Aus dem Energiesektor wird als hemmender Faktor die fehlende Planbarkeit wegen der volatilen regulatorischen Rahmenbedingungen genannt. So ist mittlerweile nicht mehr die weitere Technologieentwicklung limitierend, sondern die Entwicklung von Märkten für die jeweiligen Produkte, wofür sie auf politische Unterstützung angewiesen ist.
- **Charakteristika des Marktes:** Ein hemmender Faktor vor allem hinsichtlich der Diffusion von Innovationen ist, dass die Märkte eher

konservativ sind. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Technologien oder Produkte wie bspw. Korrosionsschutzsysteme (siehe Annex 1 – Kapitel 9.4) aufgrund der hohen technischen Komplexität langfristig analysiert werden müssen. Der Interviewpartner des Unternehmens sagte hierzu, dass gemäß seiner Erfahrungen selbst ein hervorragendes System mit guten ökonomischen und ökologischen Eigenschaften die Käufer nicht notwendigerweise überzeuge, weil viele lieber bei den bekannten Technologien blieben (Interview V&S 2016).

Sebastian Klinke (2013 S. 317 f.) erläutert, dass – im Gegensatz zu Bereichen der Kostenoptimierung im Personalwesen oder der Abfallminimierung – Ressourceneffizienz ein komplexes Thema darstellt, welches eine Bereitschaft zur Veränderung der Unternehmen voraussetzt. Gerade in KMU ist es zudem oftmals nicht möglich eine standardisierte Technologie als fertige Lösung einzusetzen – erschwert dadurch, dass in kleinen Unternehmen eine entsprechende ausgerichtete Unternehmensstrategie oftmals fehlt. Daneben kommt oft eine geringe – auf äußernde Gegebenheiten beruhende – Veränderungsbereitschaft des*r Unternehmers*in hinzu.

Darüber hinaus erläutern von Wecus und Willeke (2015), als weitere Hemmnisse gegen eine Umsetzung von Ressourceneffizienz die Höhe der erforderlichen Investitionen, eine mögliche Gefährdung der Prozesssicherheit/ Produktqualität, lange Amortisationszeiten der Investitionen, eine zusätzliche Belastung des eigenen Personals, einen fehlenden Spielraum, da das Tagesgeschäft wichtiger ist sowie der unsichere Erfolg der Maßnahmen (von Wecus und Willeke 2015).

Weitere Hemmnisse können innerhalb von Unternehmen die Folgenden sein:

- fehlender Überblick über mögliche Nachhaltigkeitsmaßnahmen, rechtliche Notwendigkeiten und Managementsysteme sowie über Hilfs- und Unterstützungsangebote für existierende Umsetzungsmöglichkeiten
- Mangel an klar definierter Strategie und Einsatz von Instrumenten im strategischen Management sowie wenig Wissen über die Thematik (technische Expertise und Nachhaltigkeitskompetenz ist weniger ausgeprägt)
- Um Unsicherheiten und Risiken über den Nutzen einschätzen zu können, müssen Nachhaltigkeitsmaßnahmen zunächst in ihrer Wirkung und ihrem potentiellen Beitrag zur unternehmerischen Nachhaltigkeitsleistung identifiziert, geplant, gesteuert und bewertet werden. Dieser Prozess ist ressourcen- und kostenintensiv und erscheint daher oftmals für KMU nicht durchführbar. Typisch ist deshalb auch eine Fokussierung auf Nachhaltigkeitsmaßnahmen, die relativ kurzfristig zu eindeutigen Kosteneinsparungen führen können. KMU sind selten bereit, ihre knappen Ressourcen für nicht zwingend notwendige Investitionen zu verwenden, deren Sinnhaftigkeit sie nicht völlig nachvollziehen

können und deren Amortisationszeiträume unklar sind. Weitere Defizite von KMU liegen oftmals in der betriebsinternen Kommunikation und in der Systematik zur Bedarfsorientierung von Qualifizierungsmaßnahmen. (Grothe 2011)

- persönlichen Charakteristika der Geschäftsführung
- organisatorische Charakteristika von KMU: Zeit- und Wissensknappheit, finanzielle Ressourcen.

Externe Barrieren stellen ein fehlendes Wissen über wirtschaftliche Vorteile durch Umweltinnovationen dar: Innovationen werden in der Regel nur umgesetzt, wenn diese auch zu Kosteneinsparungen führen. Von der Politik aufgesetzte Instrumente wie die EMAS-Zertifizierung bedürfen oftmals technischer und organisatorischer Innovationen in einem Unternehmen. Doch solche Instrumente wurden aufgrund ihrer Größe bisher vor allem von Großunternehmen umgesetzt und sind daher für KMU oftmals in der Anwendung ungeeignet, da diesen Unternehmen nur beschränkte finanzielle, humane und zeitliche Ressourcen zur Verfügung stehen. Häufig muss in kleinen Betrieben externes Wissen und Unterstützung hinzugekauft werden, um Zugang zu Informationen zu erhalten, was zu weiteren Kosten führt. Darüber hinaus werden Umweltinnovationen oftmals als „Luxus“ oder „Add-On“ betrachtet. Darüber hinaus besteht eine hohe Unsicherheit bzgl. des Erfolgs von Umweltinnovationen. Speziell für KMU bilden teure Zertifizierungssysteme, KMU nicht gerecht werdende Indikatoren-Bewertungen und Managementsysteme eine Barriere. Auch die Machtposition bzw. Hebelwirkung von KMU wirkt darüber hinaus hemmend: Aufgrund fehlender Macht der Politik und Zuliefer-Unternehmen gegenüber, hängen KMU im Vergleich zu Großunternehmen verstärkt von dem Verhalten anderer Akteure (wie Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette) ab. Aufgrund des Preisdrucks durch den Wettbewerb, einer fehlenden Durchsetzungsfähigkeit gegenüber externen *Stakeholder* und aufgrund der Unternehmensgröße von KMU, ist es im B2B-Bereich oftmals problematisch sich z.B. mit einer Marke für seine ökologische oder soziale Unternehmenspolitik auf dem Markt zu vertreiben. (Mölter 2017)

5.3 Unternehmensinterne Erfolgsfaktoren

Jede Innovation hat ihre eigene Geschichte. In der Regel spielen einzelne Protagonisten, die sich massiv für eine Idee engagieren eine wichtige Rolle. Darüber hinaus gibt es aber übergeordnete, eher strukturelle Erfolgsfaktoren, die Klimaschutzinnovationen befördern:

- **Proaktive Vorreiterunternehmen** zeichnen sich durch eine weit-sichtige Unternehmensführung aus, die auf Basis einer langfristigen Analyse künftiger Marktbedingungen an den ökonomischen Erfolg ihrer Innovationen glaubt. Diese langfristigen Strategien werden in etablierten Unternehmen durch Vertrauen zwischen Unternehmensführung und Eigentümern befördert. Bei der Gründung von Unternehmen mit

innovativem Geschäftsmodell wird dieser Weitblick durch Venture Capital Partner getragen.

- **Flache und kooperative Unternehmensstrukturen**, die Zusammenarbeit über Arbeitsbereiche hinweg ermöglichen, sind zentral, um Innovationen in Unternehmen von der Forschung bis zur Skalierung voranzutreiben.
- **Institutionalisierung von Nachhaltigkeit und Klimaschutz:** Wie oben beschrieben, wurden die Innovationen nicht primär durch normative Ziele, wie Nachhaltigkeit, motiviert. Dennoch zeigt sich, dass unternehmensinterne Strukturen, die Nachhaltigkeit befördern sollen, häufig erheblich Einfluss darauf haben, dass Innovationen in Richtung Klimaschutz auch wirklich wahrgenommen und umgesetzt werden. So hat Alunorf beispielsweise einen Energieeffizienzkreis, der systematisch nach Verbesserungsmöglichkeiten sucht. Bei Voigt und Schweizer hat die Stabstelle Nachhaltigkeit bedeutenden Einfluß auf den Innovationsprozess genommen.

5.4 Externe Erfolgsfaktoren

Neben den internen Erfolgsfaktoren wurde von den Unternehmen auch die Wichtigkeit externer Faktoren betont, welche für die Innovation initiiierend wirkten oder diese beförderten. Die Unternehmen benennen hier konkret:

- **Unterstützungsangebote von Beratungs- und Landesenergie-Agenturen**, Netzwerken oder auch Wirtschaftsförderungen,
- **Fördermittel für F&E und Demonstrationsvorhaben**
 - Innovationsförderprogramm war zentrale Voraussetzung für alle betrachteten Tiefenfallstudien
 - Aber: Auch große Unternehmen benötigen Beratung bei der Identifizierung und Beantragung dieser Mittel
 - Hier ist Kombination von technischem und kaufmännischem Know-how erforderlich
- **Regionale Innovationssysteme als Grundstein für Innovation**
 - Regionale Konzentration von Wissenschaft, Anlagenbauern und Industriebetrieben schafft Standortvorteile
 - Dynamische Entwicklungsprozesse erfordern die Möglichkeit der Vor-Ort-Zusammenarbeit
 - Win-Win-Situation für Unternehmen und regionale Wissenschaft generieren

Es zeigt sich aus den Fallstudien in Übereinstimmung mit Klinke (2013), dass zur Überwindung der Hemmnisse industrieller Klimaschutz-Innovationen, nicht nur die Rahmenbedingungen – speziell für kleine und mittlere Unternehmen – verbessert werden müssen, sondern vor allem gezielte, auf das Einzelunternehmen abgestimmte Unterstützungsangebote, von externer Seite Hilfestellung leisten können.

Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse wurde eine vertiefende Analyse über förderliche Rahmenbedingungen von Klimaschutz-Innovationen (Kapitel 6) vorgenommen.

5.5 Einordnung der Beispiele in einen Typologie-Rahmen

Die im anschließenden Kapitel 6 durchgeführte Analyse förderlicher Rahmenbedingungen für Klimaschutz-Innovationen geschieht dabei vor dem Hintergrund der Erkenntnisse der Fallstudien von Innovationsprozessen in Unternehmen (Annex 1). Daher ist eine Zuordnung dabei zentral, wenn es darum geht, die Übertragbarkeit der aus den Einzelfallstudien gewonnenen Schlüsse zu bewerten.

Wie im theoretischen Teil (Kapitel 4.2) schon eingeführt, wird demnach der Typologie-Rahmen genutzt, um die untersuchten Fall-Beispiele zu systematisieren (siehe Abbildung 5-1). Zunächst ist dabei auffällig, dass die untersuchten Fallbeispiele jeweils eine Kombinationen von mehreren Innovationen (und verschiedenen Innovationstypen) enthalten: Dass Wechselwirkungen zwischen Innovationen bestehen und diese wiederum einen Auslöser für weitere Innovationen bilden können, bestätigt auch die Literatur (Klewitz und Hansen 2014). Zudem zeigt sich, dass nur wenige Beispiele aus den Fallstudien als disruptive Innovationen eingeordnet werden können und sich diese zugleich auf Geschäftsmodell- und Organisationsinnovationen beschränken. Natürlich ist dies zunächst durch die Auswahl der untersuchten Unternehmen und Innovationen bedingt. Jedoch zeigte auch das breite, vorgeschaltete Screening, dass es sehr schwierig ist, überhaupt radikal / disruptive Innovationen zu identifizieren.

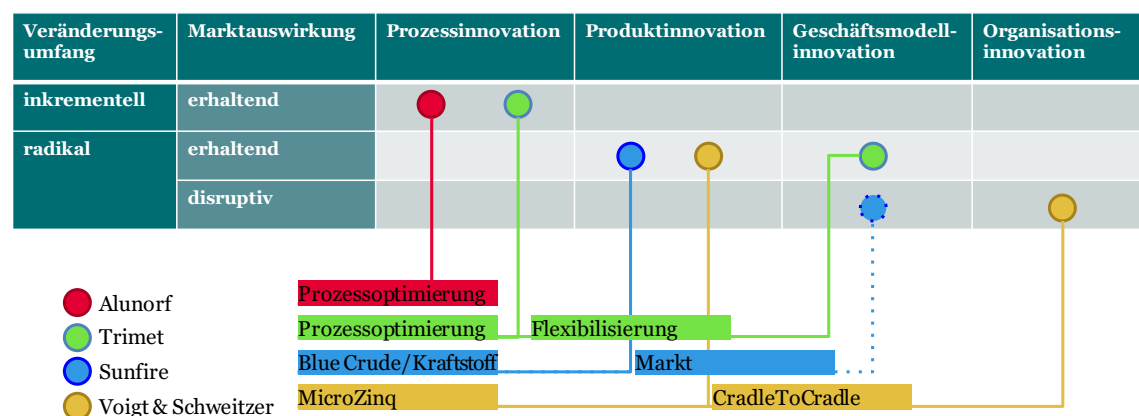


Abbildung 5-1 Einordnung der untersuchten Fallstudien zu Klimaschutz-Innovationen in einen Typologierahmen.

6 Förderliche Rahmenbedingungen für Klimaschutz-Innovationen

Generell ist zur Förderung von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie ein Instrumentenbündel von ordnungsrechtlichen, markt- und umsetzungsorientierten Instrumenten, von Maßnahmen zur Information, Motivation, Qualifikation sowie auch zur Förderung und Finanzierung erforderlich, wobei es durchaus branchenspezifische Barrieren und Anforderungen gibt (Pehnt u. a. 2011)

Die untersuchten Fallstudien (Kapitel 5 und weiterführend Annex 7.1) zeigten, dass für Unternehmen die regionale Nähe zu möglichen Kooperationspartnern, Zulieferern, aber auch gerade zu Beratungs- und Unterstützungsinstitutionen (sog. *Klimaschutz-Promotoren*) von hoher Relevanz im Innovationsprozess war. Die regionale Konzentration von Wissenschaft, Anlagenbauern und Industriebetrieben schafft Standortvorteile und gerade dynamische Entwicklungsprozesse erfordern die Möglichkeit der Vor-Ort-Zusammenarbeit. So kann eine Win-Win-Situation für Unternehmen und regionale Wissenschaft generiert werden. Vor diesem Hintergrund fokussiert unsere Analyse der förderlichen Rahmenbedingungen auf solche mit regionalem Bezug.

Um Förderinstrumente für Klimaschutz-Innovationen in der Industrie zu entwickeln bzw. bestehende Ansätze zu optimieren, ist aus unserer Sicht notwendig eine klare Typologie der unterschiedlichen Innovationen vor Augen zu haben. Daher wird die in Kapitel 3.2 vorgestellte Typologisierung und in Kapitel 4.4 fortgeführte Ausdifferenzierung von Prozessinnovationen genutzt, um förderliche Rahmenbedingungen von Klimaschutz-Innovationen zu analysieren.

6.1 Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren: Von der Vernetzung bis zur Beratung

Wie aus der Analyse der Innovationsprozesse von Klimaschutz-Innovationen hervorgeht, spielten externe Akteure eine wichtige Rolle, welche auf verschiedenste Art und Weise und in unterschiedlichem Umfang unterstützt haben: Der Unterstützungsumfang reicht dabei von intensiver Direktberatung hin zu allgemeiner Informationsbereitstellung für Unternehmen. Solche Akteure werden allgemein als Intermediäre beschrieben (van Lente u. a. 2003). Die Beratungsangebote bzw. die Bereitstellung von Information können dabei Übersicht und Unterstützung zu Finanzierungsmöglichkeiten geben, Vernetzungs- und Kooperationsaktivitäten umfassen, allgemeine (-> Querschnittstechnologien) Unterstützung zur Einsparung von Energie und Material, sowie branchenspezifische bis hin zu unternehmensindividuellen Beratungen beinhalten. Aufgrund der Vielfältigkeit und Heterogenität der Akteure und ihres gleichzeitigen Beitrags

zum Klimaschutz werden diese im Folgenden als „Klimaschutz-Promotoren“ bezeichnet.²

Zunächst werden die unterschiedlichen Arbeitsweisen, Ansätze, Ziele und Zielgruppen der Klimaschutz-Promotoren umrissen, bevor die Ergebnisse aus den Gesprächen mit unterschiedlichen Klimaschutz-Promotoren betrachtet werden und daran unterschiedliche Erfolgsfaktoren analysiert werden.

6.1.1 Arbeitsweise, Ansätze, Ziele und Zielgruppen

Es wurden insgesamt fünf Klimaschutz-Promotoren analysiert, um ein Verständnis für diese zu entwickeln: Die Effizienzagentur NRW (EFA+), das Umweltkompetenzzentrum Rhein-Neckar (UKOM), die EnergieAvantgarde Anhalt (EAA), das VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE) sowie die Lernenden Energieeffizienz-Netzwerke (LEEN). Dabei haben die Institutionen durchaus unterschiedliche Ziele, Ansätze und Organisationsstrukturen:

- Die Efa+ verfolgt den Ansatz von Unterstützung konkretes Fachwissen. Dabei möchte die Efa+ kompetenter Ansprechpartner für die Unternehmen sein und sucht daher auch eine geografische Nähe zu Unternehmen;
- UKOM hat v.a. den Ansatz durch die Bildung und die Unterstützung von Netzwerken in unterschiedlichsten Formaten einerseits Kompetenz der Unternehmen im Bereich Klimaschutz aufzubauen und gleichzeitig eine vereinte Stimme der Industrie hinsichtlich Klimaschutz bei der Politik zu vertreten;
- Die EAA hat einen stärkeren Ansatz hinsichtlich einer regionalen Entwicklung (nicht einzelne Aktivitäten in einzelnen Unternehmen) und zielt auch die Förderung disruptiver Innovationen in den Bereichen Geschäftsmodellinnovationen und sozialer Prozessinnovationen (z.B. auch Start-up Unterstützung);
- Das VDI ZRE arbeitet überregional und hat v.a. die Informationsaufarbeitung und Schaffung von Transparenz zum Ziel;
- LEEN bzw. die dahinterstehenden Netzwerkträger zielen rein auf Energieeffizienz indem eine enge Begleitung durch feste moderierte Netzwerktreffen in Kombination mit energietechnischer Beratung der jeweiligen Unternehmen erfolgt.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Klimaschutz-Promotoren inklusive einer Skizze ausgewählter Tätigkeiten und Projekte sowie Stärken und Erfolgsfaktoren sind im Annex 2 dargestellt. Ein Kurzüberblick findet sich in Tabelle 6-1

² Dies bedeutet jedoch nicht, dass die jeweiligen Akteure sich selbst als "Klimaschutz-Promotoren" bezeichnen würden. Ihr grundsätzlicher Ansatz ist häufig breiter gefasst: Ressourceneffizienz, Umweltschutz allgemein etc. Klimaschutz ist oft nicht ihre primäre Zielsetzung. Dennoch tragen die umgesetzten Maßnahmen auch stark zur Minderung von Treibhausgasen bei. Aus der Perspektive unserer Analyse scheint uns daher der Oberbegriff "Klimaschutz-Promotoren" angemessen.

	EFA+ (NRW)	UKOM (Rhein-Neckar)	EnergieAvantgarde Anhalt	VDI ZRE	LEEN
Organisationsstruktur	Im Auftrag des NRW-Umweltministeriums: Trägergesellschaft ist die prisma consult GmbH; 30 Mitarbeiter an 8 Standorten	50 Mitglieder – Unternehmen, Institute, Verbände, Städte, Stadtwerke, Unis, Privatpersonen; 3 Mitarbeiter	30 Mitglieder - Städte, Gemeinden, Stiftungen, Stadtwerke, Unternehmen, Gründer, Zivilgesellschaft; 2 Mitarbeiter	Unternehmen der VDI Gruppe (Projektkooperation aus BMUB und VDI); 12 Mitarbeiter	Joint-Venture der IREES GmbH und der Fraunhofer Gesellschaft e.V.; 2 Mitarbeiter + Netzwerkträger
Jahr & Grund der Gründung	1998: Optimierung des gesamten Ressourcenverbrauchs von Unternehmen	2003: Stärkung kommunaler Netzwerke und Umweltbewusstsein stärker in kleine produzierende Gewerbebetriebe hineinbringen	2015: Region zur Avantgarde werden lassen → Energiewende aktiv und selbstbestimmt mitgestalten	2009: VDI + BMUB zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs + Stärkung der intl. Wettbewerbsposition der dt. Wirtschaft durch Anwendung innovativer Produkte und Prozesse.	2009: Unterstützung und Weiterentwicklung des Netzwerkkonzept „30 Pilot-Netzwerke“
Finanzierung	Umweltministerium NRW	Über Mitglieder	Förderer (Stiftungen), Landesregierung (projektbezogen)	Aus Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative	Förderung der Netzwerke durch BMUB; Beiträge der beteiligten Unternehmen am Netzwerk
Zielgruppe / Partner	Einzelne (mittelständische) Unternehmen	Unternehmen (in Netzwerken), Kommunen	Innov. Projekte+ Vorbereitung regio. Entscheidungen: Breite Kooperationen mit allen regionalen Akteuren	KMU, Beratungsagenturen, Verbände, Kooperationspartner, Bildungseinrichtungen Richtlinienarbeit und Projekte für VDI, DIN, Unternehmen, Forschung	Unternehmen (von KMU bis Konzernen mit verschiedensten Energiekostenstrukturen), Kommunen
Innovationsarten	Prozess- und Produktinnovationen Erhaltend/ radikal+ inkrementell	Prozessinnovationen ; Querschnittstechnologien Erhaltend/ inkrementell	Geschäftsmodellinnovationen; soziale Prozessinnovationen Disruptiv und inkrementell	Prozessinnovationen in Querschnittstechnologien („periphere“ Bereichen) und spezifischen Prozessen; Inkrementelle Innovationen (als Türöffner)	Prozessinnovationen v.a. in Querschnittstechnologien (Effizienzsteigerungen): Erhaltende und inkrementelle.

Tabelle 6-1 Übersicht der untersuchten Klimaschutz-Promotoren.

Die Recherche zeigte, dass sich gerade diejenigen Klimaschutz-Promotoren, die vor allem regionale Kooperationen und Netzwerke unterstützen, sich oftmals *bottom-up* gründen. Sie werden oft von regional verankerten Personen oder Institutionen getragen und haben das Ziel, die Akteure einer Region oder Branche vereinen, um die Wirtschaft einer Region insgesamt oder einzelne Themen in dieser zu fördern. Die Aktivitäten und die Beständigkeit solcher Akteure leben oftmals aus dieser inneren Motivation. Gleichzeitig zeigt sich v.a. bei beratenden Akteuren, ein von Land oder Staat unterstütztes Angebot durch Finanzierung oder gar, dass der Akteur durch eine Regierung initiiert wurde. Unabhängig davon können solche Klimaschutz-Promotoren auch staatliche Institutionen selbst sein. Diese Tatsache ist aus unserer Sicht wichtig, wenn Strategien entwickelt werden, wie Klimaschutz-Promotoren von außen unterstützt werden können.

Unterschiedliche Innovationen bedürfen entsprechender Instrumente

Die Analyse zeigte, dass die jeweiligen Angebote seitens der Klimaschutz-Promotoren jeweils bestimmte Innovationen befördern. In Tabelle 6-2 werden die verschiedenen Angebote und Instrumente der Klimaschutz-Promotoren den jeweiligen Innovationsarten (Prozess-, Produkt-, Geschäftsmodell-/ Organisationsinnovationen) zugeordnet. Außerdem wird betrachtet, ob sich das Instrument v.a. dazu eignet eine Innovation hervorzubringen oder eine bestehende Technologie in die Breite zu tragen (=Diffusion) bzw. in neuen Anwendungsfeldern einzusetzen. Hierbei muss

angemerkt werden, dass die Zuordnung in den Typologierahmen auf den Aussagen der Klimaschutz-Promotoren beruht und diese teilweise nicht immer trennscharf zugeordnet werden können. Hier zeigt sich demnach ein Zusammenhang zwischen der Art und Weise der Informationsbereitstellung (ob in Form von breiten Kampagnen wie Tipps zu energierelevanten Verhalten auf einer Homepage, in Form von Entscheidungswissen wie dem Anbieten konkreter produktspezifischer Informationen, die jedoch nicht individualisierbar sind, oder ob in Form einer spezifischen Beratung bei welcher ein individualisierter und konkreter Austausch zwischen Unternehmen und Klimaschutz-Promotoren stattfindet) und der Wirkung des Angebots /Erzeugung einer Innovationsart/ Diffusion.

	Peripherieprozesse	Branchenübergreifende Kernprozesse	Spezifische Kernprozesse	Produkte	Geschäftsmodelle / Organisation
Beispiele	Beleuchtung, Heizung von Hallen	Druckluftbereitstellung, Abwärmenutzung, Kühlung, Wärmetauscher, -rückgewinnung, Abfallkreislauf	<i>Alunorf (Energieeinsparung beim Aluminiumwalzen durch verbesserte Prozessführung + Abwärmenutzung), Trimet (Nutzung des Aluminiumelektrolyse-Prozesses als virtuelle Batterie)</i>	<i>Sunfire (synthetischer Kraftstoff), Voigt & Schweitzer (Ressourcen- und energieeffiziente Verzinkung)</i>	<i>Sunfire (Markt-Design), Trimet (Flexibilisierung des Elektrolyse-Prozesses für den Ausgleich von Lastschwankungen im Stromnetz), Voigt & Schweitzer (Cradle2Cradle)</i>
Innovation			efa+ (Individuelle Beratung)	efa+ (Jump Tool) EAA (Power to idea)	EAA (Power to idea)
Diffusion	UKOM; VDI ZRE (Materialflusskostenrechner) VDI ZRE (Servicestelle zu Beratungs- und Fördermöglichkeiten) efa+ (Pius Check)	UKOM (Vernetzung zwischen Unternehmen, Kommunen und Landesenergieagentur) Best Available Technology – VDI ZRE LEEN (Beratung, LEEN Managementsystem, LEEN Cycle, Monitoring) UKOM (Arbeitskreis Umwelt & Wirtschaft + Energie- und Ressourceneffizienz)	efa+ (Pius Check) VDI ZRE (Studien, Kurzanalysen, Technologiemonitor)	UKOM (Vernetzung zwischen Unternehmen, Kommunen und Landesenergieagentur)	EAA (Denkfabrik)

Tabelle 6-2 Unterstützungsinstrumente seitens Klimaschutz-Promotoren gegliedert nach Typus von Klimaschutz-Innovationen, die damit primär gefördert werden.
Quelle: Eigene Darstellung

Fokussierung der Klimaschutz-Promotoren auf die Diffusion von Innovationen

Auffällig ist, dass die meisten Angebote sich auf die Diffusion schon bestehender Technologien/ Innovationen im Bereich von Querschnittstechnologien konzentrieren. Hierunter fallen beispielsweise die Bereiche Beleuchtung (LED-Beleuchtung), Heizung oder auch die Bereitstellung von Druckluft. Ein Grund hierfür liegt darin, dass diese oftmals für die Akteure in der Ansprache an Unternehmen sog. „low-hanging-fruits“ in Unternehmen darstellen. In einer Studie von (Hyvärinen, Keskinen und Levänen 2019) wurde ähnliches beobachtet bei der Ausrichtung der Aktivitäten von Intermediären in Innovationsprozessen. Eine solche Fokussierung bedeutet schlicht, dass die Identifizierung und Umsetzung solcher Maßnahmen in Unternehmen weniger Ressourcen bedarf und somit aus Sicht der Unternehmen mit geringen Umsetzungskosten verbunden ist.

Zudem zeichnen sich eben genau solche Querschnittstechnologien dadurch aus, dass diese zunächst branchen- und unternehmensgrößenunabhängig

angewandt werden können und somit das Groß der produzierenden Unternehmen hier Potentiale bergen Energie und Ressourcen einzusparen und somit mit ebendiesen Angeboten angesprochen werden. Die Skalierbarkeit bzw. Übertragbarkeit von Beratungsangeboten auf viele und auch unterschiedliche Unternehmen nimmt also ab, je stärker die Innovation an einen spezifischen Kernprozess der Produktion gekoppelt ist. In Abbildung 6-1 wird dies durch den sich nach unten verengenden Trichter symbolisiert. Es ist daher nicht verwunderlich, dass ein großer Teil der Beratungsangebote von Klimaschutz-Promotoren auf die obere Hälfte des Trichters abzielt. Viele Instrumente, wie etwa die Lernenden EnergieEffizienz Netzwerke (LEEN), in denen Firmen aus unterschiedlichsten Bereichen zusammen arbeiten, sind sehr erfolgreich darin, Innovationen für Peripherieprozesse in die Breite zu tragen - sie sind aber nicht geeignet, um Einzelinnovationen für spezifische Kernprozesse zu befördern.

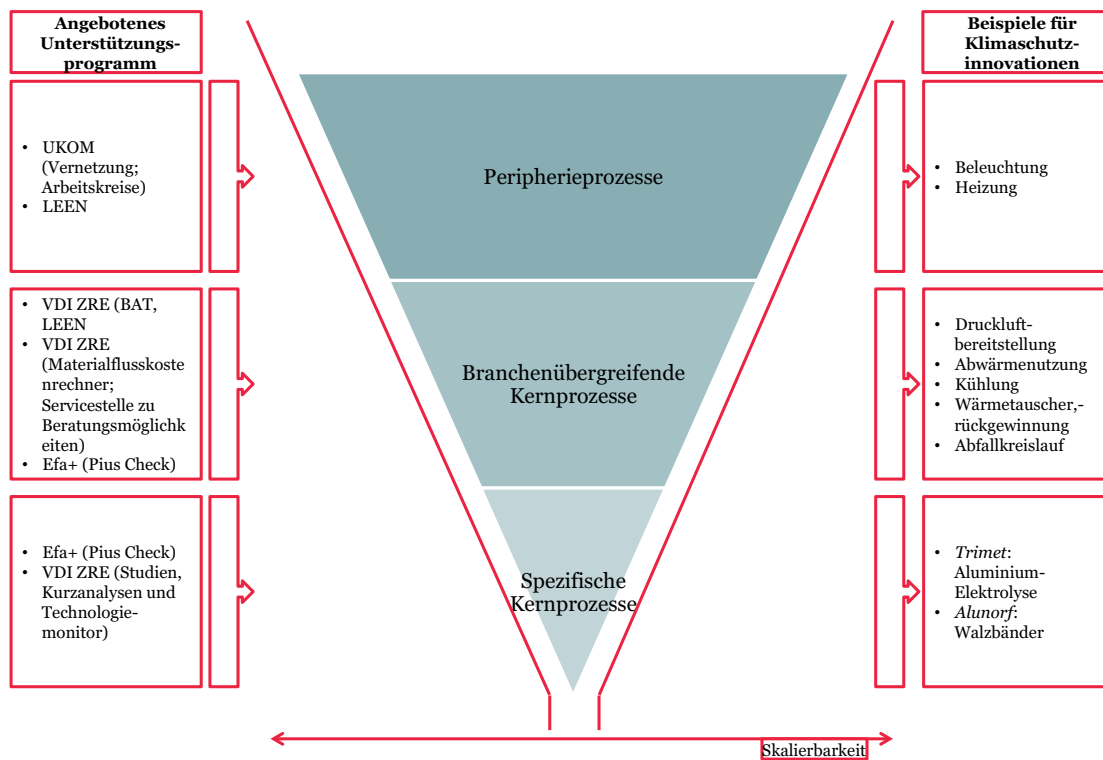


Abbildung 6-1 Wirkung von Unterstützungsangeboten von Klimaschutz-Promotoren auf Prozessinnovationen. Quelle: Eigene Darstellung.

Dabei muss betont werden, dass die meisten Klimaschutz-Promotoren auf den ersten Blick sehr ähnliche Ansätze verfolgen. Viele verwenden Audit-Werkzeuge, um Effizienzpotentiale in Unternehmen zu identifizieren. Sie adressieren Peripherie und ggf. übertragbare Produktionsprozesse. Dabei werden bewusst einfache Maßnahmen als Einstieg gewählt (s.o.). Manche Berater haben explizit die Hoffnung geäußert, dass nach einem etablierten Kontakt mit Unternehmen und ersten, erfolgreichen Maßnahmen, die Unternehmen auch bereit sind, komplexere Innovationen in Angriff zu nehmen. Im Bild der Abbildung 6-1 soll also der Trichter im Rahmen einer

langfristigen Kooperation mit den Unternehmen von oben nach durchlaufen werden.

Auf Grundlage der Auswertung unserer Fallstudien gelingt es in (wenigen) Einzelfällen tatsächlich, dass Unternehmen, die erfolgreich ihre Peripherieprozesse optimiert haben, von diesem Erfolg bestätigt, im nächsten Schritt state-of-the-art Ansätze auch für ihre Produktionsprozesse einführen. Die konkrete Entwicklung von Klimaschutz-Innovationen in spezifischen Produktionsprozessen bedarf jedoch grundsätzlich unterschiedlicher Werkzeuge. So muss z.B. eine zielgerichtete, unternehmensspezifische Beratung erfolgen. Eine Kooperation mit mehreren Unternehmen ist in der Regel nicht sinnvoll, weil entweder der spezifische Produktionsprozess in anderen Unternehmen nicht verwendet wird oder, falls er doch verwendet wird, handelt es sich oft um direkte Wettbewerber mit denen eine Entwicklungskooperation meist nicht gewünscht ist. Die Unterstützung von Innovationen in unternehmensspezifischen Produktionsprozessen bedarf auch einer hohen spezifischen Prozess-, Fach-, und Beratungskompetenz, seitens des Klimaschutz-Promotors. Die Angebote der Effizienzagentur NRW (efa+) scheinen diese Funktion übernehmen zu können. In den Unternehmensfallstudien wurde die Unterstützung durch efa+ wiederholt als Erfolgsfaktor für die Umsetzung der Klimaschutz-Innovation benannt (Auch von relativ großen Unternehmen. Wenngleich sich auch die Angebote der efa+ primär an KMUs richten.)

Im Fazit weisen unsere Analysen also darauf hin, dass es eher wenige Klimaschutz-Promotoren gibt, die ein gezieltes Angebot zur Entwicklung von Innovationen für spezifische Produktionsprozesse bieten. Um hieraus also zu folgern, ob es tatsächlich eine "Lücke" gibt, müssen folgende Aspekte betrachtet werden:

- Der methodische Ansatz unserer Studie ist die Analyse von Fallstudien und kein flächendeckendes Screening. Es kann also durchaus sein, dass es bereits Angebote gibt, die aber von uns einfach nicht analysiert wurden. Ggf. müssten also weitere Aktivitäten untersucht werden.
- Eine wichtige Frage ist, wie groß die Klimaschutzpotentiale im Bereich spezifischer Produktionsprozesse sind. Eine umfassende quantitative Analyse dieser Potentiale war nicht Bestandteil dieser Studie. Die in Kapitel 4.3 ausgewerteten Ergebnisse weisen jedoch auf erhebliche Potentiale hin. Hier wäre aber ggf. eine spezifischere Quantifizierung nötig.
- Die Unterscheidung nach Branchen, dem Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten sowie der Unternehmensgröße und –art: So bedarf es für KMU eher einer Unterstützung an Wissen und Unterstützung (wie bspw. Antragsprozessen), sodass die knappen unternehmenseigenen Ressourcen passgenau unterstützt werden. Dahingegen sind für größere Unternehmen Unterstützungen hilfreich, die Entwicklungen und Innovationsprozesse befördern (wie bspw. die Bereitstellung von Risikokapital).
- Schließlich stellt sich die Frage, ob Firmen aus der energieintensiven Industrie überhaupt ein Beratungsangebot durch Klimaschutz-Promotoren benötigen, um Klimaschutz-Innovationen für spezifische Prozesse zu entwickeln. Die Gegenthese wäre, dass gerade große Unternehmen hierfür eine eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilung verfügen, die über keine derartige Hilfe von Außen angewiesen ist. Diese Frage kann im Rahmen dieser Studie nicht abschließend geklärt werden. Jedoch weisen die untersuchten Fallstudien eindeutig darauf hin, dass es Fälle gibt, in denen externe Klimaschutz-Promotoren auch für relativ große Unternehmen wichtige Unterstützungsleistungen übernommen haben.

6.1.2 Erfolgsfaktoren für Klimaschutz-Promotoren

Was benötigen Klimaschutz-Promotoren wie etwa Effizienzagenturen, Netzwerke und Berater um möglichst effektiv Klimaschutz-Innovationen in der Industrie zu befördern? Die hier dargestellten Erfolgsfaktoren beruhen im Wesentlichen auf der Selbsteinschätzungen der Klimaschutz-Promotoren selbst (s. Annex 2) und zum Teil auf den Ergebnissen der Analyse der unternehmensspezifischen Klimaschutz-Innovationen (s. Annex 1).

Andockpunkte finden

Klimaschutz-Innovationen im Bereich von bspw. Energie- und Ressourceneffizienz sind nicht Kerngeschäft der Industrie. Eine zentrale Barriere in der Arbeit von Klimaschutz-Promotoren ist es, dass die Firmen eigentlich kein starkes eigenes Interesse haben, sich mit dem Thema zu beschäftigen. Und wenn sie es haben, haben sie häufig Wissenslücken aber gleichzeitig extrem begrenzte Kapazitäten dieses Wissen aufzubauen. Vor diesem

Hintergrund ist es eine zentrale Herausforderung für Klimaschutz-Promotoren Zugang zu Unternehmen und dort zu Einzelpersonen zu finden, die sowohl Interesse für das Thema haben, als auch Zeit sich damit zu beschäftigen und Kompetenzen, um es im Unternehmen voranzutreiben.

Die verschiedenen Klimaschutz-Promotoren bedienen sich daher eines Mix' von Ansätzen, um initial mit Unternehmen in Kontakt zu kommen und für das Thema Energie- und Ressourceneffizienz zu werben. Als besonders erfolgreich wurden benannt:

- Unmittelbaren Bezug des Themas zu möglichen Kostenreduktionen darstellen (*Zeigen, dass es wehtut*, wenn nichts getan würde).
- Angebote mit unmittelbarem Nutzen für Unternehmen (*Arbeit abnehmen, statt zusätzliche Arbeit machen*): Etwa fachliche Beratung zu geänderten rechtlichen Vorgaben. Stoffstromanalysen können Daten liefern, die auch für rechtlich vorgeschriebene Audits notwendig sind.
- Abwechslung in der Wahl des Zugangs: Wenn das Thema Energieeffizienz nicht mehr auf genug Interesse stößt, kann das Thema Ressourceneffizienz ggf. wieder Interesse in Unternehmen an Klimaschutz-Innovationen wecken

Kontinuität

Die Kontinuität von Klimaschutz-Promotoren und Beratungsinstitutionen ist ein zentraler Erfolgsfaktor. Viele Beratungsinitiativen (auch solche die im Kern sehr positiv sind) leiden unter ihrer eigenen Kurzfristigkeit. "*Bevor die jemand kennt, sind die wieder weg.*"

Klimaschutz-Promotoren und Berater müssen sich langfristig einen Namen und Renommee aufbauen. Wenn die Mund-zu-Mund Propaganda zwischen Unternehmer*innen erfolgreiche Beratungsbeispiele verbreitet, sind Unternehmer*innen eher bereit von sich aus auf Klimaschutz-Promotoren zu zugehen. Auch andere Ansprechpartner der Unternehmen, wie etwa Banken, können den Unternehmen empfehlen, dass diese sich doch ihren Ressourcenverbrauch ansehen sollten, um Kosten zu minimieren. Beides geschieht aber nur, wenn Klimaschutz-Promotoren langfristig solide Arbeit leisten. Hierfür brauchen Klimaschutz-Promotoren langfristige und verlässliche Finanzierungen, wie dies etwa bei der Effizienzagentur NRW durch das Land Nordrhein-Westfalen gegeben ist. Gleichzeitig hat die Quelle der Finanzierung einen Einfluss auf Technologie-Neutralität (da die Finanzierung Einfluss nimmt auf Empfehlungen und Aktivitäten der Promotoren) und Lebensdauer (da diese im Wesentlichen von der Finanzierung geprägt ist) eines Klimaschutz-Promotors. Vgl. hierzu (Mignon und Kanda 2018).

Regionale Nähe

Für den direkten Kontakt und die direkte Beratung von Unternehmen ist es aus Sicht vieler Klimaschutz-Promotoren notwendig, stark regional veran-

kert zu sein. Hier geht es einerseits darum, dass die Klimaschutz-Promotoren über regionales Wissen verfügen und für persönliche Treffen verfügbar sind. In noch größerem Maße geht es darum, dass sie auch von Unternehmer*innen so wahrgenommen werden. Die Hemmschwelle, dass Unternehmer*innen von sich aus Klimaschutz-Promotoren ansprechen (um Fragen zu stellen, Ideen vorzuschlagen oder um Beratung zu bitten) sinkt erheblich, wenn die Mitarbeiter*innen der Klimaschutz-Promotoren persönlich bekannt sind und als "einer von uns" wahrgenommen werden. Hierfür ist es notwendig, dass die Berater auf Veranstaltungen und in Netzwerken (oft eben auch über Jahre hinweg) präsent sind.

Dabei ist das, was als "regional" angesehen wird, deutlich kleiner als ein Bundesland. Die Effizienzagentur NRW etwa ist mit acht Regionalbüros in NRW vertreten. In einem Interview wurde "eine halbe Stunde Autofahrt" als angemessene Regionen-Größe genannt. Unter diesem Gesichtspunkt scheint es deutlich einfacher zu sein, leistungsstarke Klimaschutz-Promotoren für Ballungsräume und Regionen mit hoher Unternehmensdichte aufzubauen.

Hierbei ist es wichtig auf den Trade-Off zwischen regionalem Wissen und Wissen, welches sich ohne geografische Limitierungen über das ganze Innovationssystem erstreckt, hinzuweisen. Ein begrenzter geographischer Bezug ist einerseits nötig, damit ein Klimaschutz-Promotor die lokalen Akteure und verschiedenen sozialen Belange und Interessen kennt, beschränkt aber andererseits oftmals eine Innovation als Teil eines Systems wahrzunehmen (Mignon und Kanda 2018).

Prozesswissen

Ein zentraler Erfolgsfaktor für die Arbeit mit Unternehmen, ist die Kenntnis über Prozesse in und Bedürfnisse von Unternehmen. Dies mag als Trivialität erscheinen, wurde aber immer wieder betont, auch mit dem Verweis, dass eben viele Beratungsangebote zu schlecht auf Unternehmen abgestimmt seien und viele Mitarbeiter*innen von Klimaschutz-Promotoren zu wenig Kenntnisse über das Innenleben der Unternehmen hätten. Die Studie von (Mignon und Kanda 2018) zeigt ebenso auf, dass viele Promotoren eine verstärkte Standardisierung und Diffusion von Informationen anstatt spezifisches Know-How anstreben. Auch hier ist jedoch wieder ein Trade-Off zu beachten zwischen dem Effekt von Aktivitäten auf ein ganzes System und einem spezifizierten Service für einzelne Akteure.

Unterschiedliche Schwerpunkte wurden von unseren Interviewpartnern gesetzt bei der Frage, welches Wissen denn entscheidend sei. Genannt wurden: allgemeine Rahmenbedingungen für Unternehmen (z.B. Gewinnabsicht und Klimaschutz maximal als Nebeninteresse), organisatorische Prozesse in Unternehmen, allgemeines bis hin zu spezifisches technologisches Know-how. Darüberhinaus wurde Prozesswissen (wie berate ich Unternehmen) als sehr wichtig bewertet. Spezifisches technisches Wissen (über Technologien der Unternehmen, aber etwa auch zu spezifischen För-

derprogrammen / Finanzierungsmöglichkeiten) könnte durch externe Berater eingebunden werden, solange beim Klimaschutz-Promotoren genügend Grundverständnis vorhanden ist (etwa um einen geeigneten Berater mit auszuwählen / zu vermitteln).

6.2 Förderprogramme

Alle untersuchten Beispiele haben für die Entwicklung und Erprobung ihrer Innovationen öffentliche Fördermittel genutzt, um die notwendigen Investitionen abzufedern. Die Fördermittel stammen aus Programmen der Landes-, Bundes- und EU-Ebene. Die Erkenntnisse hierzu werden aus den Interviews mit den Unternehmen selbst (Projektteil 1) und mit den Klimaschutz-Promotoren (Projektteil 2) gebildet. Die Kernaussagen hierbei sind:

- Unternehmen benötigen Unterstützung bei der Identifizierung geeigneter Förderprogramme und bei der Antragstellung, denn Unternehmen (vor allem kleine und mittlere Unternehmen) haben in der Regel keine Kapazitäten, um die komplexe Förderlandschaft für Innovationen zu durchdringen. Klimaschutz-Promotoren fungieren dabei als Vermittler für die Akquise von Fördergeldern. Dies gilt selbst für große Unternehmen. Dabei sind die Kombination aus Know-how zu technologischen und ökonomischen Aspekten der Innovation sowie eine profunde Kenntnis der Förderlandschaft und Begleitung formaler Antragsverfahren von hoher Bedeutung.
- Die Laufzeit von Förderprogrammen ist entscheidend für deren Wirkung: Programme müssen erst bekannt werden, bevor sie breit genutzt werden. Programme mit zwei oder drei Jahren Laufzeit sind kaum geeignet um eine effektive Förderung von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie zu betreiben.
- Bürokratieaufwand niedrig halten – gerade für kleinere Unternehmen stellt ein zu hoher Verwaltungsaufwand oftmals eine entscheidende Hürde dar.

Für viele Innovationstypen existieren bereits umfangreiche Förderangebote. Es geht also eher um Anpassungen als grundsätzliche Neuausrichtung.

Die Ausgestaltung von Förderprogrammen ist aber eine zentrale Lenkungsmöglichkeit, mit der staatliche Akteure gezielt beeinflussen können, dass Innovationen in der Industrie stärker in Richtung Nachhaltigkeit und speziell Klimaschutz vorangetrieben werden. Daher scheint es wichtig, dass industrielle Innovationsförderprogramme stärker als bisher an Nachhaltigkeitszielen ausgerichtet werden. Exemplarisch hierfür wird im folgenden Abschnitt das Instrument der Innovationsgutscheine skizziert.

Innovationsgutscheine

Ein zentrales Förderinstrument zur Unterstützung von Innovationen in der Industrie sind sogenannte Innovationsgutscheine. Hier erhalten Unternehmen mit einem relativ geringem bürokratischen Aufwand finanzielle

Unterstützung für (externe) Forschungs- und Entwicklungsleistungen. Entsprechende Programme gibt es sowohl auf Bundesebene als auch von vielen Ländern.³

Im Rahmen des Beratungsprogramms des Wirtschaftsministeriums BMWi-Innovationsgutscheine (go-Inno), gab es ein Modul „Rohstoff- und Materialeffizienz“ (go-effizient). Das Programm ist im Jahr 2005 auf Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie entstanden, um das Bewusstsein für Rohstoff- und Materialeffizienz zu schärfen, Unternehmen zur Erschließung von Rohstoff- und Materialeffizienzpotenzialen zu motivieren sowie die Erkennung und Erschließung von Einsparpotenzialen zu fördern (BMWi 2017). Das Programm musste jedoch Ende des Jahres 2015 auf Basis eines Beschlusses des Haushaltsausschusses des Deutschen Bundestages eingestellt werden. Eine zentrale Schwierigkeit bestand darin, dass Firmen bei Maßnahmen der Materialeffizienz unterstützt werden, die sich im Prinzip ökonomisch selbst tragen sollten.

Die Einschätzung der von uns befragten Klimaschutz-Promotoren ist jedoch, dass sich viele Innovationen im Bereich von Materialeffizienz in der Regel über eine gewisse Umsetzungsdauer amortisieren. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Unternehmen die entsprechenden Schritte einleiten, um diese Innovation überhaupt zu identifizieren sowie umzusetzen. Daher kann ein Förderprogramm hier stark unterstützend wirken. Um den häuslicher Bedenken entgegen zu wirken, wurde vorgeschlagen, die ökologischen Kriterien (Ressourcen- und Klimaschutz) stärker in den Vordergrund eines solchen Förderprogramms zu stellen.

6.3 Regionale Innovationssysteme als Grundstein für Innovation

In allen untersuchten Beispielen wurden die Innovationen in Kooperation mit externen Partnern umgesetzt⁴. Dabei spielen regionale Partnerschaften in vielen Fällen eine besondere Rolle. Viele Innovationsprozesse ziehen sich über mehrere Jahre hinweg. Oft müssen neue Produktionsanlagen im Werk erbaut, erprobt und angepasst werden. Die Optimierung erfolgt also im laufenden Betrieb. Vielfach ist es daher notwendig, dass sich Partner regelmäßig, face-to-face austauschen, bzw. dass externe Partner gemeinsam mit dem Hauptpartner Messungen und Optimierungen im Werk vornehmen. Für solche Prozesse ist die räumliche Nähe von Partnern ein ent-

³ z.B.: BMWi - <http://www.innovation-beratung-foerderung.de>

NRW - <https://www.ptj.de/innovationsgutschein>

BW - <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/innovationsgutscheine/>

Bayern - <http://www.innovationsgutschein-bayern.de/startseite.html>

⁴ Untersuchungen von Klewitz und Hansen zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen der Interaktion mit externen Akteuren und dem Umfang und der Tiefe von nachhaltigkeitsorientierten Innovationen in (mittelständischen) Unternehmen zu beobachten ist. Um die Innovationsfähigkeit von KMU für Nachhaltigkeit zu stärken, kann die Interaktion mit externen Akteuren (z.B. Kund*innen, Unternehmen, Hochschulen) förderlich sein. So können dadurch einerseits reaktive KMU aktiviert, vorausschauende KMU unterstützt und innovationsbasierte KMU mit diversen Wissensquellen versorgt werden (Klewitz und Hansen 2014).

scheidender Vorteil. Regionale Cluster, die sowohl Produktionsstandorte, Anlagenbauer und Wissenschaft beheimaten sind ein Erfolgsfaktor von Innovationen.

Darüberhinaus erfordern neuartige Prozess- und Produktinnovationen hochqualifizierte Fachkräfte. Daher sind Standorte für innovative Industrieunternehmen besonders geeignet, die über eine hohe Konzentration entsprechender Forschungseinrichtungen verfügen, aus denen potentielle Arbeitskräfte für die Unternehmen übernommen werden können.

Genauso wie die Nähe zu Partnern bei Kooperationen spielen auch die Einbindung in Netzwerke und die Nähe zu Klimaschutz-Promotoren eine wichtige Rolle, um Klimaschutz-Innovationen zu befördern. Wie schon in Kapitel 5.1. umrissen, besteht ein Zusammenhang zwischen den jeweiligen Unterstützungsangeboten und der dafür benötigten regionalen Nähe: Je mehr die Angebote darauf zielen, praxisnah und produktionsspezifisch zu wirken oder in der konkreten Umsetzung zu unterstützen, umso wichtiger ist die Nähe zu den Unternehmen selbst.

Wie sich bei (Klein u. a. 2016) zeigt, ist die organisatorische Ausgestaltung von regionalen Innovationssystemen vielschichtig und vor allem – neben spezifischer Standortbedingungen - von der Netzwerkarbeit einzelner Akteure abhängig. Diese Akteure sind bspw. Wirtschaftsförderungen, Innovationsberater oder sonstige vernetzende Klimaschutz-Promotoren. Dabei zeigt sich bei Klein u.a. (2016), dass diese im Hinblick auf Raumbezug, Akteursspektrum und Vernetzungsgrad auf unterschiedliche strategische Ansätze zurückgreifen. Die Ausgestaltung der regionalen Innovationssysteme hängt dabei maßgeblich von den Machtquellen der Akteure ab: Soziale Kompetenz, Netzwerkwissen, Beziehungsportfolio sowie die Reputation des Akteurs selbst.

7 Handlungsempfehlungen und weitere Forschungsfragen

Der Industriesektor in Deutschland hat bereits deutliche Erfolge im Klimaschutz vorzuweisen: Die Treibhausgasemissionen wurden zwischen 1990 und 2016 um 34% reduziert (Graichen, Peter und Litz 2017). Die globalen und nationalen Zielsetzungen zum Klimaschutz stellen jedoch die deutsche Industrie auch zukünftig vor die Herausforderung Ihre CO₂-Emissionen immer weiter zu senken. Dabei gibt es viele gute Beispiele von Unternehmen, die aktiv Klimaschutz-Innovationen vorantreiben, die neue Geschäftsmodelle und Produkte entwickeln oder ihre Produktionsprozesse verbessern, um ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren und durch gezielte Innovationen und Investitionen ihre langfristige Wettbewerbsfähigkeit erhöhen wollen.

Dieser Bericht stellt exemplarisch vier solcher Beispiele dar und analysiert darauf aufbauend welche Prozesse in Unternehmen die gezielte Entwicklung von Low-Carbon Innovationen befördern und welche Rahmenbedingungen und Unterstützung von außen Unternehmen helfen, um sich stärker am Ziel einer Low-Carbon Economy auszurichten.

7.1 Erfolgsfaktoren für Klimaschutz-Innovationen in Unternehmen

Die Fallstudien zu Klimaschutz-Innovationen zeigen die Individualität und Heterogenität von Innovationsprozessen. Dennoch lassen sich über die einzelnen Fallstudien hinweg gemeinsame interne wie auch externe Erfolgsfaktoren identifizieren. Neben der Wichtigkeit einzelner Personen, die sich massiv für eine Idee engagieren, gibt es auch übergeordnete, eher strukturelle Erfolgsfaktoren, die Klimaschutzinnovationen befördern:

Tabelle 7-1 Unternehmensinterne und -externe Erfolgsfaktoren für Klimaschutz-Innovationen

Unternehmensinterne Erfolgsfaktoren	Unternehmensexterne Erfolgsfaktoren
Weitsichtige Unternehmensführung und langfristige Strategien	Unterstützungsangebote von Beratungs- und Landesenergie-Agenturen, Netzwerken oder auch Wirtschaftsförderungen,
Flache und kooperative Unternehmensstrukturen	Fördermittel für F&E und Demonstrationsvorhaben
Institutionalisierung von Nachhaltigkeit und Klimaschutz	Regionale Innovationssysteme als Grundstein für Innovation

Die externen Erfolgsfaktoren werden als Ansätze zur Förderung von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie weiter beleuchtet.

7.2 Systematisierung von Klimaschutz-Innovationen

Wenn es darum geht, Klimaschutz-Innovationen in der Industrie zu unterstützen, dann gibt es kein "one size - fits all". Zu heterogen sind die Unternehmen (Größe, Energieintensität, Sektor oder Art der Produkte und Pro-

duktionsprozesse), aber auch die Innovationen selbst. Die Forschung zu Klimaschutz-Innovationen, oftmals auch nachhaltigkeitsorientierte Innovationen genannt, ist nach (Klewitz und Hansen 2014) noch ein junges Feld. Eine „kohärente Theorie und Methodik zur Analyse von Innovationen in Richtung nachhaltigen Wirtschaftens fehlen [bislang]“ (Rennings 2000). Mit Blick auf den spezifischen Unterstützungsbedarf halten wir die in Kapitel 4.4 eingeführte Unterscheidung von Innovationen bei a) Peripherieprozessen b) übertragbare Produktionsprozesse und c) unternehmens-/ branchenspezifischen Produktionsprozessen für zielführend (s. Tabelle 7-2)

Tabelle 7-2 Vorschlag für eine Systematisierung von Prozessinnovationen. Quelle: Eigene Darstellung.

	Peripherieprozesse	Branchenübergreifende Kernprozesse	Spezifische Kernprozesse
Beschreibung	Innovationen, die nicht unmittelbar an den Produktionsprozess gekoppelt sind	Technologien und Verfahren, die in unterschiedlichsten Produktionsprozessen verwendet werden	Innovationen in den spezifischen Produktionsprozessen einer Branche oder eines Unternehmens
Beispiel	Beleuchtung, Raumwärme	Druckluft, Abwärme	Flexibilisierung Aluminium-Elektrolyseprozess

Diese Systematisierung zeigt, dass es sehr unterschiedliche Typen von Klimaschutz-Potentialen in der Industrie gibt. Um diese zu erschließen braucht es entsprechend angepasste Unterstützungsansätze: Bei Peripherieprozessen ist die Verbreitung – also die Diffusion- von etablierten Innovationen ein zentraler Ansatz. Förderprogramme, regionale Netzwerke und Klimaschutz-Promotoren können entsprechend "breit" aufgestellt sein. Zur Erschließung von produktionsspezifischen Innovationen bedarf es wesentlich gezielterer Förderung, spezifischer brancheninterner und – übergreifender Netzwerke sowie individueller Beratungsangebote.

- Eine kohärente Systematisierung von Klimaschutz-Potentialen und entsprechender Innovationstypen in der Industrie bildet eine notwendige Grundlage für die Ausgestaltung einer gezielten Low-Carbon Innovations- und Industriepolitik.
- Wir schlagen eine Unterscheidung in 1) Peripherieprozesse 2) branchenübergreifende Kernprozesse und 3) spezifische Kernprozesse vor.
- Basierend auf dieser Unterscheidung schlagen wir die Erstellung einer Metastudie zur Ermittlung des Klimaschutz-Potentials entlang dieser Kategorien vor. Dies impliziert eine genauere Betrachtung der spezifischen Produktionsprozesse innerhalb verschiedener Branchen.

7.3 Förderung und Skalierung von Innovationen

7.3.1 Regionale Innovationssysteme

Regionale Innovationssysteme können ein Treiber für Klimaschutz-Innovationen sein. Dabei kann die organisatorische Ausgestaltung und Wirkung des regionalen Innovationssystems für eine spezifische Innovation sehr unterschiedlich sein. In den von uns untersuchten Beispielen wirken u.a.: die räumliche Nähe von Produzenten und Kunden, von Industrie und Wissenschaft, die räumliche Dichte von Firmen einer Branche und wissenschaftlichen Einrichtungen, sowie die Nähe zu spezifischen und kompetenten Klimaschutz-Promotoren und Netzwerkakteuren.

Viele Innovationsprozesse ziehen sich über viele Jahre hin und erfordern intensive Kooperationen. Oft müssen neue Produktionsanlagen im Werk erbaut, erprobt und angepasst werden. Vielfach ist es daher notwendig, dass sich Partner regelmäßig, face-to-face austauschen, bzw. dass externe Partner gemeinsam mit dem Hauptpartner Messungen und Optimierungen im Werk vornehmen. Hier spielt gegenseitiges Vertrauen eine wichtige Rolle, sowohl um neue Gedanken zu spinnen, als auch um eine langfristige, enge Kooperation einzugehen. Die regionale Verankerung von Promotoren und Netzwerkakteuren (s.u.) ist oft ein zentraler Katalysator für regional getriebene Innovationen.

Diese Erkenntnisse sind nicht neu und meist auch nicht spezifisch für Klimaschutz-Innovationen. Sie spiegeln sich wieder in dem in Deutschland weit verbreiteten Ansatz der Industriecluster und Kompetenzfelder einer spezifischen Region. Was aber fehlt ist eine stringente Ausrichtung der Förderung regionaler Innovationssysteme am Leitbild Klimaschutz.

□ *Wenn es darum geht, die deutsche Industrie insgesamt auf dem Pfad zur Dekarbonisierung zu unterstützen, dann genügt es nicht, ein Cluster (unter vielen) zu Klimaschutztechnologien zu etablieren - dann müssen Ansätze entwickelt werden grundsätzlich alle Industriecluster am Leitbild der Dekarbonisierung auszurichten.*

7.3.2 Öffentliche Förderprogramme

Förderprogramme sind ein zentrales Instrument, um industrielle Innovationen am Ziel des Klimaschutzes auszurichten. In allen von uns untersuchten Fällen, sind öffentliche Fördermittel in Anspruch genommen worden. Wir gehen davon aus, dass es sich nicht um Mitnahmeeffekte handelte, sondern dass die Förderungen notwendig waren, um den letzten Schritt zur Implementierung zu ermöglichen. Dadurch erfüllen sie die beabsichtigte politische Lenkwirkung in Richtung Nachhaltigkeit.

Aus Sicht der von uns befragten Industrieakteure und Promotoren stehen grundsätzlich ausreichend und geeignete Fördermittel zur Verfügung. Eine umfassende Auswertung der bestehenden Förderlandschaft war nicht Teil dieser Untersuchung - daher ist es anzunehmen, dass in spezifischen Zu-

kunftsfeldern Förderlücken bestehen könnten, bzw. Programme an sich ändernde Herausforderungen angepasst werden müssen. Grundsätzlich jedoch, scheint die Förderlandschaft geeignet um Klimaschutzinnovationen in der Industrie zu unterstützen.

Die Ausgestaltung von Förderprogrammen muss aber deutlich optimiert werden. Unternehmen verfügen über sehr eingeschränkte Ressourcen, um gezielte Innovationen zu entwickeln. Dadurch ergeben sich, aus Sicht der Unternehmen, hohe Zugangsbarrieren für im Prinzip passende Fördermittel. Um diese Barrieren zu reduzieren, sehen wir, neben einer generellen Vereinfachung von Antragsprozessen, vor allem folgende Ansätze:

- *Unternehmen, gerade KMUs benötigen kompetente Beratung zur Identifizierung geeigneter Förderprogramme und Unterstützung bei der Antragstellung. Klimaschutz-Promotoren (s.u.) wie Effizienzagenturen etc. können diese Beratungsleistung übernehmen, benötigen aber ggf. langfristig abgesicherte Ressourcen, um dies kompetent und effektiv tun zu können.*
- *Förderprogramme für Klimaschutz-Innovationen in der Industrie müssen langfristig angelegt sein! Es kann durchaus zwei Jahre dauern, bis ein Programm soweit etabliert ist, dass es effizient ausgeschöpft werden kann.*

7.3.3 Unterstützung fördern: Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren

In vielen von uns untersuchten Fallstudien von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie spielen externe Promotoren⁵ eine wichtige Rolle: häufig in der Form von Netzwerkakteuren, die Informationen oder Kontakte vermitteln oder als Agenturen, die Unternehmen beraten und ggf. im Entwicklungsprozess von Klimaschutz-Innovationen begleiten (Kanda u. a. 2018). Gerade um geeignete Förderprogramme zu identifizieren und bei der Antragstellung benötigen viele Industrieunternehmen, nicht nur kleine Firmen, professionelle Unterstützung.

Vor diesem Hintergrund wurden der Ansatz und die Arbeitsweise, der in Kapitel 6.1 vorgestellten, Promotoren untersucht: Die Effizienzagentur NRW (EFA+), das Umweltkompetenzzentrum Rhein-Neckar (UKOM), die EnergieAvantgarde Anhalt (EAA) das VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE) sowie der Ansatz der Lernenden Energieeffizienz-Netzwerke (LEEN).

Auf den ersten Blick gibt es große Gemeinsamkeiten - gerade der regional arbeitenden Agenturen und Netzwerke EFA+, UKOM und LEEN. So konzentrieren sich alle Klimaschutz-Promotoren v.a. auf KMU; viele stellen

⁵ Unter Klimaschutz- Promotoren werden all jene Netzwerke, Beratungen und im Klimaschutz tätigen Unterstützungsinstitutionen gefasst. Der Begriff des „Klimaschutz-Promotors“ wurde bewusst gewählt, um die genannten Akteure unter einem Begriff zu vereinen, da die Ansätze und Ziele der Akteure äußerst diversifiziert sind. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sich die Akteure aus ihrem eigenen Selbstverständnis heraus auch als „Klimaschutz-Promotor“ benennen würden.

Analysewerkzeuge zur Verfügung um Effizienzpotentiale zu identifizieren. Die Akteure zielen dabei mit ihren Angeboten auf unterschiedliche Innovationstypen. Im Detail gibt es auch entscheidende Unterschiede in den verfolgten Ansätzen und damit auch in der jeweiligen Wirkung. Zur Entwicklung einer klimaorientierten Industrie- und Innovationspolitik, ist es notwendig, diese Gemeinsamkeiten und Unterschiede klar zu benennen:

- Klimaschutz-Promotoren, wie Netzwerkakteure und Effizienzagenturen verringern überhaupt erst einmal die Schwelle für produzierende Unternehmen sowohl reine Energie- und Ressourceneffizienz- Maßnahmen durchzuführen, wie auch Low-Carbon-Innovationen zu entwickeln. Dies erreichen die Promotoren, indem sie Unterstützungsleistungen selbst anbieten oder zu entsprechenden Akteuren vermitteln.
- Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Recherche zeigt, dass viele Unterstützungsangebote vor allem auf die Diffusion bestehender Technologien und die Förderung von Energie- und Ressourceneffizienz bei Peripherieprozessen und breit übertragbaren Produktionsprozessen fokussieren. Nur wenige Angebote zielen auf die konkrete Förderung von Klimaschutz-Innovationen in der Industrie in produktionsspezifischen Prozessen (s. Abbildung 7.1). Auch die Entwicklung von neuen klimaoptimierten Produkten und Geschäftsmodellen wird nur von wenigen Promotoren unterstützt.
- Außerdem zeigt sich, dass viele wichtige sowie sehr erfolgreiche Programme und Beratungswerkzeuge auf inkrementelle / erhaltende Innovationen zielen. Nur wenige zielen explizit auf radikale oder disruptive Innovationen.

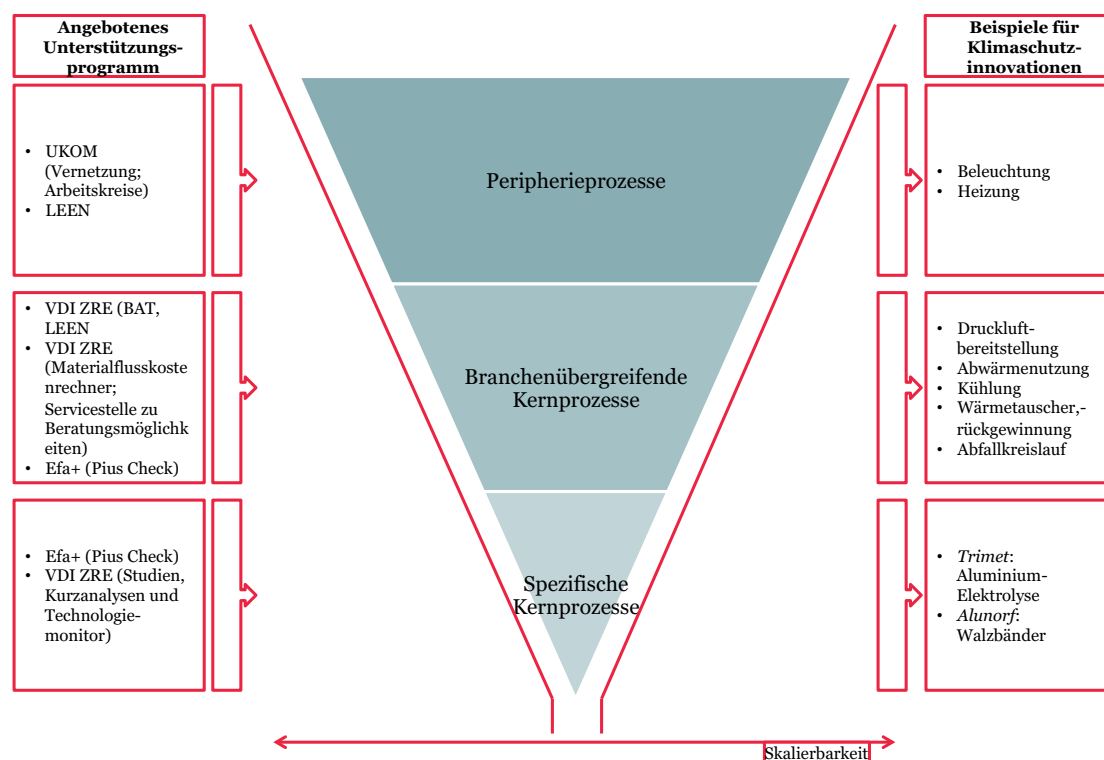


Abbildung 7-1 Wirkung von Unterstützungsangeboten von Klimaschutz-Promotoren auf Prozessinnovationen. Quelle: Eigene Darstellung.

- Die bestehenden Programme und Promotoren leisten einen wichtigen Beitrag um das Klimaschutz-Potential gerade von KMU in allen Sektoren zu erschließen. Die Verbreitung von State-of-the-Art Klimaschutztechnologien ist eine zentrale Aufgabe, die auch langfristig weiter geführt werden muss.
- Darüber hinaus bedarf es aber verstärkt Klimaschutz-Promotoren, die gerade auch die Entwicklung von Klimaschutz-Innovationen in spezifischen Kernprozessen der Industrie unterstützen.

Erfolgsfaktoren für Klimaschutz-Promotoren

In der Studie haben wir erhoben, welche zentralen Ansatzpunkte Klimaschutz-Promotoren selbst sehen, um effektiv arbeiten zu können. Wenn es darum geht Klimaschutz-Promotoren im Rahmen einer Low-Carbon Industriepolitik zu stärken, müssen diese Erfolgsfaktoren berücksichtigt werden:

- *Regionale Nähe: Für den direkten Kontakt und die direkte Beratung von Unternehmen ist es aus Sicht vieler Klimaschutz-Promotoren notwendig, stark regional verankert zu sein. Dabei ist das, was als "regional" angesehen wird, deutlich kleiner als ein Bundesland. Die Effizienzagentur NRW etwa ist mit acht Regionalbüros in NRW vertreten.*
- *Prozesswissen: Ein zentraler Erfolgsfaktor für die Arbeit mit Unternehmen, ist die Kenntnis über Prozesse in und Bedürfnisse von Unternehmen.*
- *Kontinuität: Klimaschutz-Promotoren müssen sich langfristig einen Namen und Renommee aufbauen, um mit ihren Beratungsangeboten Industrieunternehmen erreichen zu können. Dies ist ein zentraler Erfolgsfaktor und erfordert in Konsequenz eine Finanzierungsstruktur, die ein solch langfristiges Beratungsangebot erlaubt.*

7.3.4 Radikale und disruptive Innovationen in der energieintensiven Industrie?

Für eine umfassende Dekarbonisierung sind gerade auch radikale und disruptive Innovationen nötig. Die Frage ist, wie diese speziell in der energieintensiven und Grundstoffindustrie befördert werden können? Anders gefragt und bezugnehmend auf den in Kapitel 4.2 vorgestellten Typologierahmen: Wie können radikale und disruptive Innovationen in der energieintensiven Industrie entstehen?

Häufig gehen (potentiell) disruptive Innovationen von neuen Akteuren aus, also Start-ups (s. Annex, Fallbeispiel Sunfire) oder unabhängig agierende Tochterunternehmen. Die Geschichte der deutschen Energieversorger ist ein Beispiel in der die "Branchenriesen" nicht Treiber sondern Getriebene waren, die auf die Disruption mit der Gründung von auf Erneuerbare spezialisierten Tochterunternehmen und schließlich in Fall von E.ON und RWE mit einer Spaltung der Konzernstruktur reagiert haben. In vielen Unternehmen mit größerer Endkundennähe ist die Simulation von firmeneigenen Start-ups in Form von Innovation Hubs, Inkubatoren, Excelleratoren etc. eine gängige Strategie (Mölter u. a. 2017). Unklar ist aber, wie solche Strategien in der energieintensiven Industrie aussehen können, die geprägt ist von hoher Marktkonzentration, langen Investitionslebenszyklen und sehr hohen Investitionskosten für neue Technologien. Die Unterstützung von Start-ups - etwa um eine neue Technologie zur Stahlerzeugung zu entwickeln - scheint kein praktikabler Ansatz zu sein. Es stellt sich also die Frage, welche Rahmenbedingungen oder Anreizmechanismen geschaffen werden müssten, um die energieintensive Industrie als Partner für eine schnelle Entwicklung disruptiver Innovationen zu gewinnen?

Daher sehen wir den Bedarf, basierend auf unserer Analyse, Antworten auf die Frage zu finden:

- *Welche Strategien bieten sich für die Förderung disruptiver Innovationen in der Grundstoff- und energieintensiven Industrie an jenseits von finanziellen Anreizen und Förderprogrammen an? Insbesondere: Welche Unterstützungsangebote sollen externen Promotoren vermitteln, um industrielle Akteure bei disruptiven Klimaschutz-Innovationen zu unterstützen?*

7.3.5 Änderung marktseitiger Rahmenbedingungen

Ein Teil der von uns untersuchten Low-Carbon Innovationen wurde vorangetrieben, obwohl sie sich aktuell für die Unternehmen nicht rentieren - vielmehr gehen diese davon aus, dass sich das Marktumfeld im Rahmen der Energiewende so verändern wird, dass sich zukünftig ein Geschäftsmodell für die jeweiligen Innovationen etablieren lässt. Beispiele hierfür sind die Entwicklung einer neuen Technologie zur Herstellung synthetischer Treibstoffe (Sunfire) und die Flexibilisierung des Stromverbrauchs in der Elektrolyse bei der Herstellung von Rohaluminium (Trimet).

Hier zeigt sich deutlich, dass mittel- und langfristig entsprechende Rahmenbedingungen notwendig sind, um Einzelinnovationen in den Mainstream zu überführen. Hier muss sich die Politik aktiv an der Rahmensetzung beteiligen, sei es durch eine stärkere Bepreisung von CO₂, Verknappung der Emissionszertifikate im ETS aber auch durch spezifische Regularien der verschiedenen Märkte, etwa durch ein Strommarktdesign, das ausreichend Anreize für die Bereitstellung von Regelenergieleistung zur Verfügung stellt.

8 Annex-Verzeichnis

10	Annex 1: Wie Innovationsprozesse in Unternehmen ablaufen: Barrieren, Treiber und Erfolgsfaktoren.	48
10.1	Trimet Aluminium SE	49
10.2	Alunorf	59
10.3	Sunfire GmbH	67
10.4	Voigt & Schweitzer – microZINQ® und duroZINQ®	77
11	Annex 2: Welche Rahmenbedingungen den Erfolg von Innovationen beeinflussen: Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren, Förderungen und Regionalität in Innovationsprozessen.	86
11.1	Effizienzagentur NRW	86
11.2	Umweltkompetenzzentrum Rhein Neckar e.V. (UKOM)	89
11.3	Energieavantgarde Anhalt	93
11.4	LEEN – Lernende Energieeffizienznetzwerke	96
11.5	VDI Zentrum Ressourceneffizienz	99
12	Literaturverzeichnis	102

9 Annex 1: Wie Innovationsprozesse in Unternehmen ablaufen: Barrieren, Treiber und Erfolgsfaktoren.

Zu Beginn wurden in einer Literaturrecherche u.a. Best-Practice-Reports, Nachhaltigkeitsberichte, Auszeichnungen (Energy Efficiency Award, Industriepreis etc.), Wirtschaftsmagazine und Unternehmensberichte betrachtet, um einen ersten Überblick über Innovationen in der energieintensiven Industrie zu erhalten. Zunächst wurden grobe Kriterien zur Systematisierung der Innovationen gebildet: Branche, Position in der Wertschöpfungskette, Innovationsarten und -bereiche, regionaler Bezug und Treiber. Anhand dieser Kriterien wurden 38 Unternehmen und 5 Spitzencluster-Regionen aus ca. 25 Branchenbereichen betrachtet und in eine Matrix aufgenommen. Von diesen Unternehmen stammten je eines aus Frankreich, den Niederlanden und der Schweiz, die restlichen Unternehmen aus Deutschland. Die hierbei entwickelte Matrix wurde im Auswahlprozess stetig ergänzt.

In einer zweiten Recherchephase wurden darauf aufbauend in einem mehrstufigen Auswahlprozess 17 Innovationen bzw. Unternehmen ausgewählt, ausführlicher in Form von Kurzfallstudien betrachtet zu werden. Auswahlkriterien waren hierbei vor allem, ob die Innovation in der energieintensiven Industrie angesiedelt war, die Übertragbarkeit auf die jeweilige Branche sowie andere Branchen, das Emissionsminderungspotential und inwieweit schon Informationen über Kooperationen mit anderen Unternehmen, Instituten o.ä. vorlagen. Um jeweils über die energieintensiven Branchen Metall (-verarbeitenden), Chemie und Zement-Industrie tiefergehende Betrachtungen anzustellen, wurde bewusst darauf geachtet, aus diesen Branchen mindestens einen Vertreter unter der Auswahl der 17 Fallbeispiele zu belassen.

Im nächsten Schritt erfolgte eine Beurteilung der identifizierten Innovationen anhand der Kriterien in Abbildung 3. In Rücksprache mit der European Climate Foundation wurden die Ergebnisse dieser Prozessstufe ausgewertet und eine Auswahl der Top 10 Beispiele getroffen, für welche anschließend Scorecards mit textlicher Beschreibung als Kurzfallstudien aufgebaut wurden. Diese zehn Fallstudien sind in diesem Dokument beschrieben.

9.1 Trimet Aluminium SE



9.1.1 Beschreibung des Unternehmens

Die Trimet Aluminium SE ist ein konzern-unabhängiger und familiengeführter deutscher Aluminiumhersteller mit über 2.600 Mitarbeitern. Der Hauptsitz befindet sich in Essen (Nordrhein-Westfalen). Das Unternehmen produziert und verarbeitet Primäraluminium in Essen, Hamburg, Saint-Jean-de-Maurienne und Voerde sowie Sekundäraluminium aus Aluminiumschrott in Gelsenkirchen und Harzgerode (Becker, Büttner und Held 2015).

9.1.2 Marktüberblick

Die globale Nachfrage nach Aluminium ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen – nicht zuletzt aufgrund der dynamischen wirtschaftlichen Entwicklungen in Asien und der damit einhergehenden Nachfragesteigerungen. Weltweit werden jährlich etwa 50 Millionen Tonnen hergestellt. In China, dem größten Hersteller, wurden im Jahr 2015 etwa 32 Mio. T Aluminium in Hütten produziert. Der zweitgrößte Produzent war Russland mit 3,5 Mio. T. Die vier deutschen Primäraluminiumhütten produ-

zierten im Jahr 2011 insgesamt 432.500 T (530.700 T in 2014) Primäraluminium, die Sekundärhütten produzierten 634.400 T (599.400 T in 2014) Sekundär- oder Recyclingaluminium. (Dr. Postler 2011)

Den höchsten Pro-Kopf-Verbrauch von Aluminium hat mit fast 40 Kilogramm pro Einwohner Deutschland. Dies ist u.a. am hohen Anteil von Aluminium in Kraftfahrzeugen begründet: Im Durchschnitt sind etwa 150 kg Aluminium in einem PKW verbaut. (Döschner 2014)

Die Aluminiumherstellung, insbesondere die Herstellung von Primäraluminium aus Bauxit / Aluminiumerzen, ist sehr energieaufwendig. Der Energiekostenanteil an der Bruttowertschöpfung (Produktionswert – Vorleistungen) beträgt bei der Aluminiumerzeugung etwa 57% und ist damit im Vergleich zu anderen energieintensiven Branchen besonders hoch. (FIZ Karlsruhe 2016)

Der größere Anteil des in Deutschland erzeugten Aluminiums wird durch Einschmelzen von Schrott zu sog. Sekundäraluminium produziert. In Deutschland wird eine Tonne Primäraluminium mit weniger als 15 MWh Strom erzeugt.

Wird Sekundäraluminium aus Aluminiumschrott gewonnen, werden nur etwa 5 Prozent der für die Primärproduktion eingesetzten Energie benötigt.

Aluminium wird als gut stofflich recycelbar gesehen: Zur Zeit kommen bereits über 85 % des im Bauwesen anfallenden Aluminiumschrotts in den Verwertungskreislauf zurück. Aus dem Altmittel entsteht durch einfaches Einschmelzen Sekundäraluminium.

9.1.3 Beschreibung der Innovation (Art & Bereich)

Primäres Aluminium wird mithilfe von Strom in einem Elektrolyseverfahren ge-

wonnen. Die Energie ist notwendig, um das chemisch besonders stabile Aluminiumoxid in metallisches Aluminium umzuwandeln. Dabei geht der größte Teil der hierfür eingesetzten Energie nicht verloren, sondern wird im Aluminium gespeichert. Seit Erfindung dieser Technologie im Jahre 1886 ist jedoch eine absolut gleichbleibende Energiezufuhr der wichtigste Garant für einen stabilen und energieeffizienten Produktionsprozess: Der Elektrolyseprozess ist auf eine annähernd konstante Betriebstemperatur von ca. 1.000 Grad Celsius angewiesen (Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH 2015b). Die Temperaturabweichung darf maximal fünf Grad Celsius betragen. Um diese Abweichung von der erforderlichen Betriebstemperatur nicht zu überschreiten, ist eine konstante elektrische Leistung notwendig.

Im Rahmen eines Pilotvorhabens konnte das Unternehmen in Zusammenarbeit mit der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) diesen Prozessparameter überwinden. Auf diese Weise wurde der Prozess für eine stärker fluktuierende Energiezufuhr ausgelegt (GDA 2013). In der Kooperation von Trimet und BUW wurden hierfür die notwendigen Grundlagen experimentell erforscht und mit Hilfe eines Demonstrators simuliert. Treibend hierfür war, dass bei der Herstellung von Primäraluminium 20-50% der Herstellungskosten auf den Strompreis entfallen (Becker, Büttner und Held 2015).

Die Flexibilisierung des Elektrolyseprozesses von Trimet erfolgt durch eine Steuerung des Wärmeabzugs mit Hilfe von Wärmetauschern. Auf diese Weise kann die Betriebstemperatur des Prozesses gesteuert werden. Im bisherigen Verfahren erfolgt die Wärmeabfuhr der Elektrolyse hingegen ungesteuert. Darüber hinaus wird die bisher auf einen konstanten Eintrag und Aus-

trag von Material ausgelegte Prozesssteuerung optimiert. (Ecofys u. a. 2016)

Die branchenübliche Kennziffer zur Bewertung der Effizienz der Aluminiumherstellung ist die sogenannte Stromausbeute: Das Verhältnis aus Energieinput für das fertige Produkt und dem minimal möglichen Energieeinsatz für das fertige Produkt. Die Stromausbeute beschreibt damit die Produktionseffizienz. In der weltweiten Praxis wird eine Stromausbeute zwischen 93,5 und 95 Prozent erreicht. Trimet konnte seine Stromausbeute von circa 94% auf 95% durch das neue Verfahren steigern. Neben der Effizienzsteigerung wird nach Schätzungen von Trimet mittels der gesteuerten Wärmeabfuhr durch den Einsatz von Wärmetauschern die Leistungsanpassung und somit die Flexibilität des Elektrolyse-Prozesses voraussichtlich von bisher fünf auf +/-25 % erhöht (Ecofys u. a. 2016)

Trotz höherer Investitionskosten hat sich Trimet bewusst gegen eine reine Effizienzverbesserung und für die beschriebene Optimierung des Elektrolyse-Prozesses entschieden, die sowohl die Prozesseffizienz als auch Fahrweise flexibilisiert (Interview Trimet 2016). Die Flexibilisierung ermöglicht die Nutzung der Aluminiumelektrolyse als virtuelle Batterie mit einer Speicherkapazität von circa 3.400 Megawattstunden und öffnet Trimet, wenn in industriellem Maßstab eingesetzt, den Markt für Regenergie und damit ein neues Geschäftsfeld (Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH 2015b). Ein Umbau aller nationalen Trimet-Werke in Deutschland, von denen alleine drei in NRW stehen, könnten nach Unternehmensangaben die bisherige Pumpspeicherkapazität Deutschlands von 40 Gigawattstunden um ein Drittel erhöhen (Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH 2015b).

Die Aluminiumhütten der Trimet sind mittlerweile qualifiziert zur Teilnahme an der

sofortigen Abschaltung gemäß ‘Verordnung über Abschaltbare Lasten’ und kommen zusammen auf eine Abschaltleistung von 620 MW in 6 Anlagen mit einer Mobilisierungszeit von einer Sekunde (Hauck 2015) (Becker, Büttner und Held 2015).

9.1.4 Energieverbrauch, Emissionen

Die Einführung und Weiterentwicklung des optimierten Elektrolyse-Prozesses hat in der Essener Aluminiumhütte den spezifischen Energieverbrauch von 14,9 kWh pro kg produziertem Aluminium auf 13,9 kWh/kg gesenkt. Dies bedeutet eine jährliche Einsparung von ca. 160 GWh (Metalle pro Klima 2016b).

Der zuvor beschriebene Umbau des Verfahrens ist Voraussetzung für eine flexible Fahrweise der Elektrolyse, da starke Schwankungen bei der Stromausbeute im aktuellen Prozess zu erheblichen Störungen und Instabilitäten der Elektrolyse führen (Interview Trimet 2016).

9.1.5 Kostensenkungen

Eine Teilnahme am Regenergie-markt mit zusätzlichen ökonomischen Vorteilen ist für die Essener Trimet die Motivation für eine Flexibilisierung ihres Elektrolyse-Verfahrens. Eine entsprechende Umrüstung der Elektrolyseöfen ist jedoch mit erheblichen Kosten verbunden – wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Die Umsetzung des Demonstrator-Konzepts in industriellem Maßstab an einer von drei Elektrolyse-Linien am Standort Essen mit einer Leistung von 90 MW erfordert Investitionskosten und Betriebsausgaben in Höhe von etwa 24-25 Mio. €. Die Investition erfordert daher laut Aussage des interviewten Trimet-Experten ein erhebliches Maß an unternehmerischer Weitsicht und Risikobereitschaft, wie ebenso zeigt (Loschen 2016). Um mittelfristig eine Amortisation der Investitionen zu ermöglichen, sei insbesonde-

re ein stabiler regulatorischer Rahmen sowie eine stärkere Ausrichtung der Rahmenbedingungen des Regelenergiemarktes

an die Betriebsbedingungen von Industrieunternehmen notwendig. (Interview Trimet 2016)

	Essen	Voerde	Hamburg	Gesamt
Prod. Kapazität Primäraluminium	168.000 t	95.000 t	133.000 t	396.000 t
Leistungsaufnahme	278 MW	161 MW	220 MW	659 MW
Swing +/- 25%	+/- 70 MW	+/- 40 MW	+/- 55 MW	+/- 165 MW
Investitionen	70 M€	40 M€	55 M€	165 M€

Abbildung 1: Kostenplan zur deutschlandweiten Umsetzung der Flexibilisierungsmaßnahmen bei Trimet SE

Quelle: (Energy Awards 2015)

9.1.6 Übertragbarkeit & Relevanz

Das Potential von Flexibilisierungsmaßnahmen wird insgesamt als besonders hoch in der energieintensiven Industrie eingeschätzt – darunter fallen etwa die Chlor- oder auch Zementproduktion. Die entwickelten Neuerungen bei Trimet können ein Beispiel sein, wie industrielle Verfahren den Bedingungen grüner Stromversorgung angepasst werden können.

Trimet erläutert, dass die Ergebnisse des Projekts sehr gut auf die anderen Elektrolyse-Linien in Essen übertragbar seien; doch für andere Elektrolyse-Linien des Unternehmens müssten neue Lösungen gesucht werden: Für jede Elektrolyse brauche es grundsätzlich eine eigene Lernkurve mittels eines eigenen Demonstrators und mit entsprechenden Investitionen, um Konzepte im Demonstrationsmaßstab testen und verifizieren zu können (Interview Trimet 2016).

Neben der Übertragbarkeit auf andere deutsche Hüttenbetreiber, liegt ein weit

höheres Übertragbarkeitspotential in China, wo ebenfalls die Herausforderung besteht, Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen in das Netz einzuspeisen. In Deutschland gibt es aktuell eine installierte Hüttenkapazität von ca. 1.000 MW, in China etwa 40.000 MW. Demnach bestünde hier ein erhebliches Potential, die Flexibilisierung von Elektrolyse-Prozessen für den Ausgleich von Lastschwankungen im Stromnetz zu nutzen.

Dies verdeutlicht die hohe energie- und klimapolitische Bedeutung der Innovation von Trimet, da die primäre Aluminiumproduktion etwa ein Prozent der weltweit produzierten Energie benötigt und dabei die Schmelzflusselektrolyse die einzig verfügbare effiziente Herstellungsmöglichkeit ist. Mit Hilfe des somit zur Verfügung gestellten Stromspeichers wird perspektivisch die Integration volatiler erneuerbarer Energiequellen in das deutsche Stromnetz bei gleichzeitiger Erhaltung der Versorgungssicherheit ermöglicht.

9.1.7 Förderungen

Das Projekt zum Bau eines Demonstrators, welcher die Machbarkeit der Innovation aufzeigen sollte, umfasste Investitionskosten in Höhe von rund 4 Mio. €, wovon 1,6 Mio. € durch eine EFRE-Förderung abgedeckt wurden. Für die Skalierung des Flexibilisierungskonzepts auf industriellen Maßstab sind weitere Investitionen in eine aufwendigere Messtechnik mit Modellbildung erforderlich. Dies soll in einem neuen Projekt mit dem Titel „Aluminium-Elektrolyse 4.0“ vorangetrieben werden. Dieses hat ein finanzielles Volumen von etwa 4-4,5 Mio €. Hierfür akquiriert Trimet gegenwärtig Fördergelder. Darüber hinaus ist das Projekt von Trimet in einem der durch das Bundesforschungsministerium (BMBF) geförderten Kopernikus-Projekte eingebunden. (Interview Trimet 2016).

9.1.8 Nebenfolgen

Zum derzeitigen Zeitpunkt lässt sich keine Aussage treffen, ob mit einer Flexibilisierung der Elektrolyse negative Auswirkungen bspw. auf die Netzauslastung oder Preise im Strommarkt, eintreten könnten. Da die Schmelzflusselektrolyse die einzig verfügbare effiziente Herstellungsmöglichkeit für Primäraluminium ist, bleiben trotz Innovationen- die hohen Emissionen in der Aluminium-Herstellung bestehen.

9.1.9 Innovationsprozess

Die Flexibilisierung der Elektrolyse von Trimet hat eine mehr als zehnjährige Vorgeschichte. Bereits im Jahr 2004/2005 bemühte Trimet sich, die Preisschwankungen an der Strombörse während Schwachlastphasen (Niedertarifphasen) und Hauptzeiten (Haupttarifphasen) zu nutzen und seine Elektrolyseverfahren entsprechend anzupassen. Dies erforderte, den Prozess bei Hochpreisen zu drosseln und bei Niedertarifen hochzufahren. Trimet begann im

Jahr 2005 überdies damit, in Kooperationen mit einem Energieversorgungsunternehmen Minutenreserven zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen im deutschen Stromnetz zu liefern.

Diese ersten Ansätze für eine Flexibilisierung der Elektrolyse und ihre Anpassung an eine zunehmend volatile Stromversorgung führten jedoch zu erheblichen Störungen und Instabilitäten des Elektrolyseprozesses. Nach einer Warnung der Leiter der Elektrolyseverfahren, dass dies neben Effizienzeinbußen zu einer nachhaltigen Schädigung der Anlagen führen könnte, wurden diese Aktivitäten vorerst eingestellt. (Interview Trimet 2016)

Trimet entwickelte in der Folge Lösungsansätze, um dieser Schwierigkeiten Herr zu werden. Das Unternehmen kam zu dem Schluss, dass eine andersartige Prozessführung notwendig sei, um den Elektrolyseprozess auf eine schwankende Stromzufuhr auszurichten.

Hierfür wurde ein Messgerät entwickelt, welches es ermöglicht, anstelle repräsentativer Messungen für den Gesamtprozess die Prozesskenngrößen spezifisch für jede einzelne Elektrolysezelle zu ermitteln. Dies ist notwendig, da bei einer schwankenden Stromzufuhr die Temperaturen der einzelnen Elektrolysezellen zu weit auseinanderliegen, um die erforderliche „Super Heat“ zu erreichen. Letztere entspricht dem Delta zwischen der Betriebstemperatur der Elektrolysezelle und dem Erstarrungspunkt. Dieses Delta muss in allen Elektrolysezellen identisch sein.

Das von Trimet neu entwickelte Messgerät erlaubt es, den Wärmehaushalt jeder einzelnen Elektrolysezelle zu erfassen und ist damit sehr viel „näher am Prozess“ als das vorherige Verfahren. Diese genaue Kenntnis der Prozessparameter stellte eine zentrale Grundlage für weitere Schritte zur Fle-

xibilisierung der Elektrolyse dar. (Interview Trimet 2016)

Mit Hilfe des Messgerätes begann Trimet im Jahr 2011/2012 damit, einen Steuerungsmechanismus zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Temperaturen in den Elektrolysezellen optimal ausgelegt werden können. Dies erfolgte anhand steuerbarer Wärmetauscher, die von einem australischen Fachinstitut entwickelt wurden. Das Verfahren wurde zunächst in einer einzelnen Zelle getestet und anschließend auf einen Demonstrator erweitert. Letzterer wurde dann für die Optimierung des Verfahrens sowie weitere Tests genutzt.

9.1.10 Erfolgsfaktoren

9.1.11 Nachfolgend werden die entscheidenden (unternehmensinternen und -externen Treiber für die Flexibilisierung der Elektrolyse von Trimet zusammengefasst. Die Informationen stammen, wie schon diverse Erkenntnisse aus den vorherigen Abschnitten, aus einem Interview mit einem Experten des Unternehmens (Interview Trimet 2016).

9.1.12 Interne Treiber der Innovation:

Langfristdenken als zentrale Motivation:

Trimets Bemühungen, den Elektrolyseprozess zu flexibilisieren, lag eine langfristige strategische Grundsatzentscheidung zugrunde. Aufgrund des steigenden Anteils volatiler Erneuerbarer Energien am Strommarkt erkannte die Unternehmensführung, dass die Prozesseigenschaften des bislang stark auf eine stabile Stromzufuhr ausgerichteten Elektrolyseverfahrens an ein zunehmend volatiles Marktumfeld angepasst werden mussten.

Überdies ging sie davon aus, dass die Wertigkeit von Flexibilität in einer derartigen Marktkonstellation zunehmen und per-

spektivisch zum Business Case werden dürfte. Angesichts der langfristigen Ausbauziele für erneuerbare Energien entschied sich das Unternehmen daher, in die Flexibilisierung der Elektrolyse zu investieren, obgleich diese Investition aktuell noch keine Rendite erbringt.

Vertrauen zwischen Eigentümern und Leitung als Grundstein für Innovation:

Der Innovationsprozess wurde durch die spezielle Struktur Trimets als familiengeführtes Unternehmen unterstützt. Zwischen der Eigentümerfamilie und der Unternehmensleitung besteht ein gewachsenes Vertrauensverhältnis, so dass die Eigentümer der Analyse der Unternehmensführung zur zukünftigen Entwicklung des Marktumsfelds im Energiesektor und der stromintensiven Industrie folgten – obgleich durch die Flexibilisierung der Elektrolyse keine kurzfristigen Returns on Investment zu erwarten sind.

Der interviewte Experte von Trimet stellt die Leitungs- und Entscheidungsstrukturen von Trimet explizit in Gegensatz zu denen einer Aktiengesellschaft, in der Investitionsentscheidungen aus Kurzfristerwägungen heraus im Namen anonymer Anteilseigner getroffen werden, und stuft sie als wichtigen Faktor für das Gelingen des Innovationsprozesses ein.

Know-how zusammenführen durch flache Hierarchien:

Die Flexibilisierung der Trimet-Elektrolyse wurde durch ein Projektteam aus Mitarbeitern des Unternehmens und externen Experten vorangetrieben, in dem Know-how unterschiedlicher Disziplinen versammelt war. Hierzu zählten beispielsweise Expertise für Prozesstechnologie, Handel und Energiepolitik sowie Vertreter von Anla-

genbauern und Fachinstituten für einzelne Prozessschritte oder Komponenten.

Innerhalb des Unternehmens wirkten sich dessen flache Entscheidungs- und Abteilungsstrukturen positiv auf den Innovationsprozess aus. So erforderte es eine komplexe Innovation wie die Flexibilisierung des Elektrolyseverfahrens erfordern es, verschiedene Arbeitsbereiche und Hierarchieebenen des Unternehmens einzubeziehen und die Technologie gemeinschaftlich zu entwickeln.

Im Gegensatz zu stärker hierarchisch aufgebauten Unternehmen kam es im Fall von Trimet nicht zu Interessenkonflikten oder Rivalitäten zwischen den verschiedenen Unternehmensbereichen. Vielmehr ermöglichte die unternehmensinterne Kooperationskultur, die Innovationsidee zielgerichtet und konsistent zu erarbeiten, im Einzelfall zu testen und auf Demonstratormaßstab zu skalieren.

9.1.13 Externe Treiber der Innovation:

FuE-Förderung als Starthilfe:

Für Teile des Projekts zur Flexibilisierung der Elektrolyse wurden von Trimet, wie oben erwähnt, verschiedene öffentliche Fördergelder akquiriert. Hierzu zählen bislang durch das Land Nordrhein-Westfalen vergebene EFRE-Mittel, Fördergelder des Bundesforschungsministeriums (BMBF). Weitere Förderungen des Landes Nordrhein-Westfalen stehen gegenwärtig in Aussicht.

Dies zeigt, dass es eines vielfältigen FuE-Förderrahmens und der Zusammenarbeit mit verschiedenen politischen Entscheidungsebenen bedarf, um ein Innovationsprojekt des hier beschriebenen Umfangs zu realisieren. Dies ist insbesondere notwendig, um das Vorhaben auf Demonstratorgröße zu erproben und anschließend in

industriellem Maßstab anzuwenden. Hinzu kommt, dass Trimets Flexibilisierungskonzept lediglich eine begrenzte Übertragbarkeit aufweist und für Elektrolyse-Verfahren anderen Typs jeweils eigene FuE-Anstrengungen und Lernkurven erforderlich sind.

Der befragte Trimet-Vertreter stellte fest, dass der Förderrahmen für das Projekt am Standort Essen zwar als Starthilfe für die notwendigen FuE- und Skalierungstätigkeiten hilfreich war bzw. ist, jedoch nicht ausreicht, um eine Refinanzierung der Investitionen in absehbarer Zeit zu gewährleisten. Das Projekt erfordere daher ein gewisses Maß an unternehmerischem Mut und hohe politische Planungssicherheit.

Marktmechanismen für Systemdienstleistungen für Industrieunternehmen anpassen:

Um aus der Flexibilisierung der Elektrolyse einen Business Case zu machen, ist es aus Sicht von Trimet erforderlich, bestehende Marktmechanismen für das Angebot von Regelenergie an die Bedürfnisse von Industrieunternehmen anzupassen. Aktuell ist dieser Markt sehr stark auf Kraftwerksbetreiber ausgelegt und es bestehen hohe Anforderungen an die Verfügbarkeiten von Regelenergieanbietern. Industrieunternehmen werden dadurch dazu gezwungen, Back-Up-Kapazitäten vorzuhalten oder in einen Pool verschiedener Regelenergieanbieter einzugehen. Dies erhöht die Einstiegshürden für Industrieunternehmen und verringert laut Trimet die Attraktivität des Regelenergiemarktes.

Überdies sei es notwendig, die Berechnung der Netzentgelte an das Ziel, Industrieunternehmen zur Vorhaltung flexibler Lasten zu motivieren, anzupassen. Beispielsweise führe aktuell ein Beitrag zur negativen Regelenergie - das heißt beispielsweise eine

Erhöhung der Elektrolyse-Last, um überschüssigen Strom bei niedriger Nachfrage aus dem Netz zu nehmen - zu erheblich höheren Netzentgelten. Dies könne, so der Trimet-Experte, dazu führen, dass aus Regenergieprodukten erwirtschaftete Einkünfte durch erhöhte Netzentgelte wieder aufgezehrt würden. Eine politische Forderung Trimets besteht deshalb darin, dass Beiträge zu Systemdienstleistungen keinen Einfluss auf die Höhe von Netzentgelten haben sollten.

Es wird somit deutlich, dass eine Industrialisierung der Innovation eine Anpassung des Strommarktdesigns erfordert und ein FuE-Förderrahmen rechtzeitig durch Marktinstrumente flankiert werden sollte, um einen flexibilisierten Elektrolyseprozess ökonomisch darstellbar zu machen.

Kooperation mit der Wissenschaft – regionales Know-how für dynamische Entwicklungsarbeiten:

Trimet ist bei der Entwicklung und Erprobung seines Flexibilisierungskonzepts gezielt Kooperationen mit wissenschaftlichen Partnern eingegangen. Auf diese Weise ist es gelungen, Know-how, welches im eigenen Haus nicht vorhanden war, einzubinden. Als regionaler Kooperationspartner wurde die Bergische Universität Wuppertal (BUW) für die Mitarbeit an der Entwicklung des Demonstrators gewonnen. Der Kontakt zu den entsprechenden Lehrstühlen wurde durch den Leiter der Prozess-technik-Abteilung von Trimet vermittelt.

Mitarbeiter und Studenten der BUW bearbeiteten Teilbereiche des Themas in Master- und Bachelor-Arbeiten. Beispielsweise wurden Modellzellen der Elektrolyse erstellt und daran Verschleißversuche der enthaltenen Werkstoffe gefahren. Der interviewte Trimet-Experte beschreibt die Zusammenarbeit bei der Entwicklung des

Demonstrators als „hands on“ und „dynamisch“.

Um der Dynamik einer solchen Entwicklungstätigkeit gerecht zu werden, war die räumliche Nähe zur BUW und der dadurch mögliche regelmäßige persönliche Austausch von hoher Bedeutung. Letztlich habe das Projekt eine Win-Win-Situation für BUW und Trimet geschaffen, da sich den BUW-Lehrstühlen neue spannende Tätigkeitsfelder mit hohem Praxisbezug erschlossen und Trimet vom Know-how der Universität profitierte.

Kooperation mit der Wissenschaft - regionales Know-how gezielt durch internationale Expertise flankieren:

Die regionale Kooperation mit der BUW wurde durch eine Zusammenarbeit mit internationalen Partnern zu spezifischen Technologie- bzw. Prozessaspekten des Projekts gezielt flankiert. So wurde das Schweizer Institut KANAAK, das aus der Technologieabteilung der früheren Alu Swiss hervorgegangen ist, für spezielle magnetische Modellierungen und Untersuchungen der Elektrolysezellen konsultiert. Die Wärmetauschertechnik wurde von der australischen Universität New South Wales eingekauft.

Die Kooperation mit der australischen Universität kam trotz der großen räumlichen Distanz zustande, weil die Forschungslandschaft zur Primäraluminiumproduktion in hohem Maße in den entsprechenden international tätigen Unternehmen konzentriert und nicht frei zugänglich ist. Aus diesem Grunde kommt internationalen Forschungsk Kooperationen im Kontext dieser Innovation eine hohe Bedeutung zu.

Im Unterschied zur Zusammenarbeit mit der BUW konzentrierte sich die Kooperation mit der New South Wales University vor allem auf die Nutzung und Weiterentwick-

lung von dort bereits bestehendem Grundlagenwissen zu ihrer speziellen Wärmetauschertechnologie. Die Zusammenarbeit war deshalb weniger stark auf den dynamischen und persönlichen Austausch als bei der Demonstratorentwicklung von Trimet und BUW angewiesen.

Es zeigt sich folglich, dass die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Trimet ein zentraler Erfolgsfaktor für die Realisierung der Innovation war und dass insbe-

sondere die gelungene Kombination aus regionalem und internationalem Know-how von hoher Bedeutung war. Es ist deshalb sinnvoll, Innovationsfelder, die sich im Zuge des Umbaus des Energiesystems und der Klimaschutzziele für Industrieunternehmen erschließen, systematisch hinsichtlich ihres Forschungspotentials zu prüfen und entsprechende Kooperationen mit Universitäten und Forschungsinstituten aufzubauen.

9.1.14 Quellen

Neben dem Interview mit einem Experten aus dem Unternehmen, wurden folgende Quellen für die Fallstudie herangezogen:

- Becker, Büttner und Held. 2015. Demand Side Management: „Da können wir zeigen, was wir drauf haben.“ - Ein Interview mit Dr. Martin Iffert der TRIMET Aluminium SE. *Der Energieblog*. 11. März. <http://www.derenergieblog.de/allem-themen/energie/demand-side-management-da-koennen-wir-zeigen-was-wir-drauf-haben-ein-interview-mit-dr-martin-iffert-der-trimet-aluminium-se/> (zugegriffen: 8. Oktober 2016).
- Energy Awards. 2015. Aluminiumelektrolyse mit flexibler Energiezufuhr! Energy Awards 2015 Handelsblatt. http://energyawards.handelsblatt.com/fileadmin/content/pdf/2015/Nominier-te_technische_Daten/Trimet_Aluminium_SE.pdf (zugegriffen: 10. August 2016).
- Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH. 2015. Aluminiumelektrolyse als virtuelle Batterie. *KlimaExpo.NRW Motor für den Fortschritt*. <http://www.klimaexpo.nrw/mitmachen/projekte-vorreiter/vorreitergefunden/trimet/> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Döschner, Jürgen. 2014. Aluminium-Produktion in Deutschland Schmutzig, teuer, überflüssig. *Tagesschau*. 25. Februar. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/aluminium102.html> (zugegriffen: 8. März 2016).
- Ecofys, Alexandra Langenheld, Barbara Dr. Praetorius und Andreas Jahn. 2016. Flex-Efficiency. Ein Konzept zur Integration von Effizienz und Flexibilität bei industriellen Verbrauchern. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. März. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Flex-Efficiency/Agora_Flex-Efficiency_WEB.pdf (zugegriffen: 8. März 2016).
- GDA, Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. 2013. Trimet entwickelt „virtuellen Stromspeicher“. *GDA*. 2. Dezember. <http://www.aluinfo.de/index.php/gda-news-de/items/trimet-entwickelt-virtuellen-stromspeicher.5010.html> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Hauck, Heribert. 2015. Nachfrageflexibilität im Industriesektor. Gehalten auf: WIK netconomica 2015, 29. September, Bonn. http://www.wik.org/fileadmin/Konferenzbeitraege/netconomica/2015/Hauck_TRIMET.pdf.

- Loschen, Rebekka. 2016. INDUSTRIELLES LAST-MANAGEMENT DIE ALUMINIUM-BATTERIE. e21.digital- Das Innovationsmagazin von energate (Mai). http://www.energate.de/fileadmin/redaktion/downloads/e21digital/e21digital_2016_3.pdf (zugegriffen: 10. August 2016).
- Metalle pro Klima, Eine Unternehmensinitiative in der Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. 2016. ENERGIEEFFIZIENZ IN DER ALUMINIUMELEKTROLYSE. *METALLE PRO KLIMA*. <http://metalleproklima.de/bestpractice/energieeffizienz-in-der-aluminiumelektrolyse/> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Postler, Dr. Andreas. 2011. Primär- und Sekundäraluminiumproduktion in Deutschland. *Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.* <http://www.aluinfo.de/index.php/produktion.html> (zugegriffen: 8. März 2016).

9.2 Alunorf



9.2.1 Beschreibung des Unternehmens

Die Aluminium Norf GmbH, kurz Alunorf, ist ein gemeinschaftliches Unternehmen von Hydro Aluminium Rolled Products und Novelis. Alunorf ist das größte Aluminiumschmelz- und Walzwerk der Welt, hat über 2.100 Beschäftigte und produziert jährlich 1,5 Mio. Tonnen Aluminium. Die Produktion der Alunorf ist in drei Bereiche gegliedert: Aluminiumschmelzwerk, Warmband- und Kaltbandbereich.

Region: Neuss (NRW)

9.2.2 Beschreibung der Innovation (Art & Bereich)

Eine Weiterverarbeitungsform von Aluminium ist das Walzen zu Aluminiumbändern bzw. Folien unterschiedlicher Dicke (sog. coils). Diese dienen als Vorprodukt für diverse Aluminiumprodukte, wie Dosen oder Aluminiumfolie, Offset-Druckplatten, Fahrzeugteile oder Dach- und Wandverkleidungen. Im Walzprozess muss hierfür das Aluminium erhitzt werden, was sehr energieaufwändig ist.

Das Walzen geschieht in mehreren Prozessschritten, die zunächst ein sog. Kaltwalzen

(bei ca. 190° C) und anschließend ein sog. Warmwalzen bei ca. 540°C umfassen. Dabei ist es für die Produkteigenschaften notwendig, dass die coils vor dem Warmwalzprozess auf eine genau definierte Temperatur erhitzt werden. (Energy Awards 2014)

Aufgrund von Erfahrungswerten wissen die Angestellten im Werk, wie lange das Aluminium im Ofen bleiben muss um die gewünschte Verarbeitungstemperatur zu erreichen. Allerdings müssen hierfür definierte Ausgangsbedingungen gegeben sein - die Starttemperatur des coils muss also immer gleich sein. Um dies zu erreichen, wurden die im Kaltwalzen erzeugten Alubänder bisher zunächst 24 Stunden lang auskühlen gelassen.

Energetisch vorteilhafter wäre es natürlich die Restwärme aus dem Kaltwalzen nutzen zu können. Alunorf hat dieses Problem gelöst, in dem eine Reihe von neuen Öfen mit umfangreicher Mess- und Regeltechnik ausgestattet wurden: Die Glühöfen sind einzeln steuerbar, Temperaturfühler überwachen den Heizvorgang im Ofen und sor-

gen für die optimale Glühdauer. Ebenso neu ist, dass sich für jede der vier Rollen, die in einen Ofen passen, die Temperatur individuell einstellen lässt. Zusätzlich zu diesem Steuerungskonzept (Glühmodell) wurden weitere Effizienzmaßnahmen umgesetzt. So werden etwa die warmen Abgase des Ofens genutzt, um das Schutzgas aufzuheizen. (Energy Awards 2014)

Mit dem neuen Ofenkonzept, welches schematisch in Abbildung 6 dargestellt ist, konnte insgesamt eine erhebliche Reduzierung des Energieeinsatzes für das Glühen der Coils über den Stand der Technik hinaus realisiert werden.

In diesem Jahr wurde das Unternehmen erneut für seine Energie- und Ressourceneffizienz mit dem „Best Practice Award 2016“ ausgezeichnet. (Metalle pro Klima 2016a)

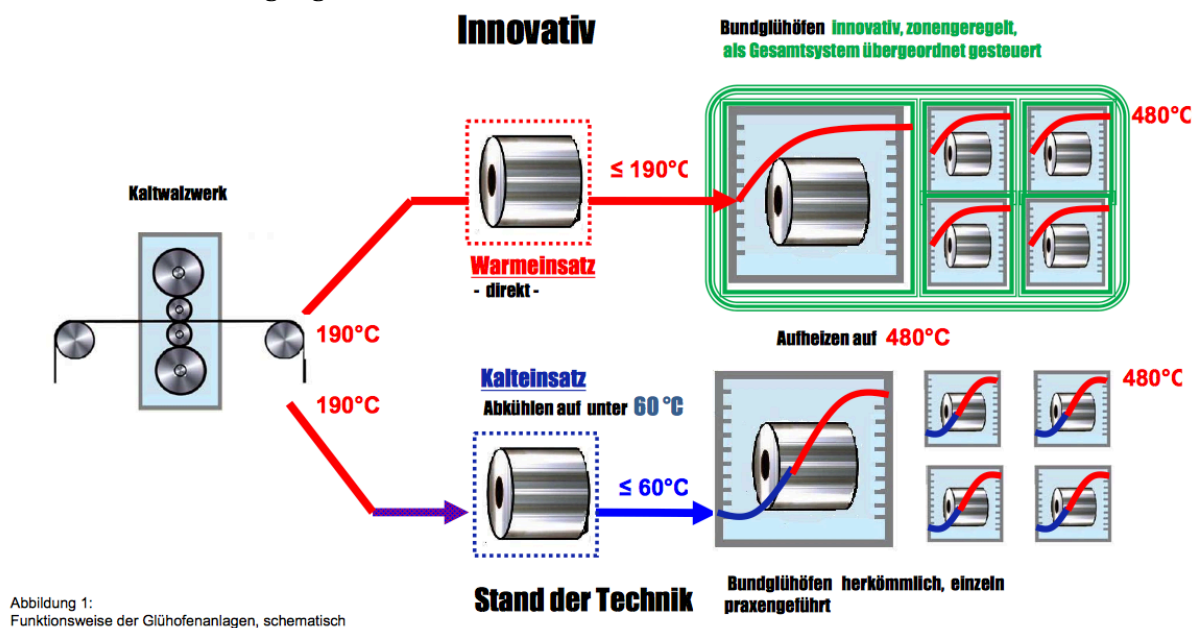


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Glühofenanlage

Quelle: (Trepels, Kunsleben und Lodde 2014)

9.2.3 Energieverbrauch, Emissionen

Durch die neue Steuerungstechnik konnte eine Energieeinsparung von knapp 31 Mio. kWh pro Jahr im Glühprozess erreicht werden. Dies entspricht einer Senkung des jährlichen Energieverbrauchs von Alunorf um -45% im Vergleich zum herkömmlichen Glühprozess. Einhergehend damit konnte der jährliche CO₂-Ausstoß von Alunorf um fast 50% (≈ 8.400 t CO₂) gesenkt werden. (EFFIZIENZ-AGENTUR NRW 2014)

Bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch des Werkes, führen die Innovationen im Glühprozess, zu einer Erhöhung der Energieeffizienz um etwa ein Prozent (Woher 2015), da der Glühbetrieb im Werk weniger als 5% des gesamten Energiebedarfs im Werk

Ausmacht. Alunorf gibt an, dass im Glühbetrieb des Werkes eine Einsparung in nochmals gleicher Größenordnung möglich sei.

Anzumerken ist hierbei, dass schon für die Produktion einer Tonne Primäraluminiums jedoch 1,4 t CO₂ anfallen. (Umweltbundesamt 2016)

9.2.4 Kostensenkungen

Die Energiekosten konnten durch die Innovation um 1,31 Mio. € pro Jahr gesenkt werden. Die Investitionen von 7,6 Millio-

nen Euro können folglich innerhalb von etwa sechs Jahren amortisiert werden. (Trepels, Kunsleben und Lodde 2014)

9.2.5 Relevanz und Übertragbarkeit

Die Optimierungen wurden speziell für Alunorf in einer Kooperation der Otto Junker GmbH und der RWTH Aachen entwickelt und sind weltweit ein Novum. Sie sind grundsätzlich auf andere Aluminiumwalzwerke übertragbar. Wobei im Detail z.T. aufwändige Anpassungen an den jeweiligen Produktionsstandort durchgeführt werden müssten. (Steffen 2016)

Der federführende Anlagenbauer, die Otto Junker GmbH, hat bereits weitere Einheiten dieses neuen Verfahrens verkauft.

Für die Bewertung der Relevanz der Innovation ist eine Einordnung in die Aluminium Herstellungskette wichtig, wie in Abbildung 7 nachvollzogen werden kann: Im Rahmen der Herstellung von Aluminiumprodukten aus Rohaluminium ist die erzielte Energieeffizienz erheblich. Allerdings fällt der Großteil des Energieverbrauchs in der Herstellung von Rohaluminium (Elektrolyse von Bauxit - siehe Beispiel Trimet) an. Der Energieverbrauch für die Herstellung Primäraluminiums (etwa 13 kWh Strom je Kilo Aluminium) ist etwa zehnmal so hoch, wie für die Weiterverarbeitung (etwa 1,3 kWh Strom je Kilo Walzprodukt) von Aluminium. (Norsk Hydro ASA)(IEA 2009)

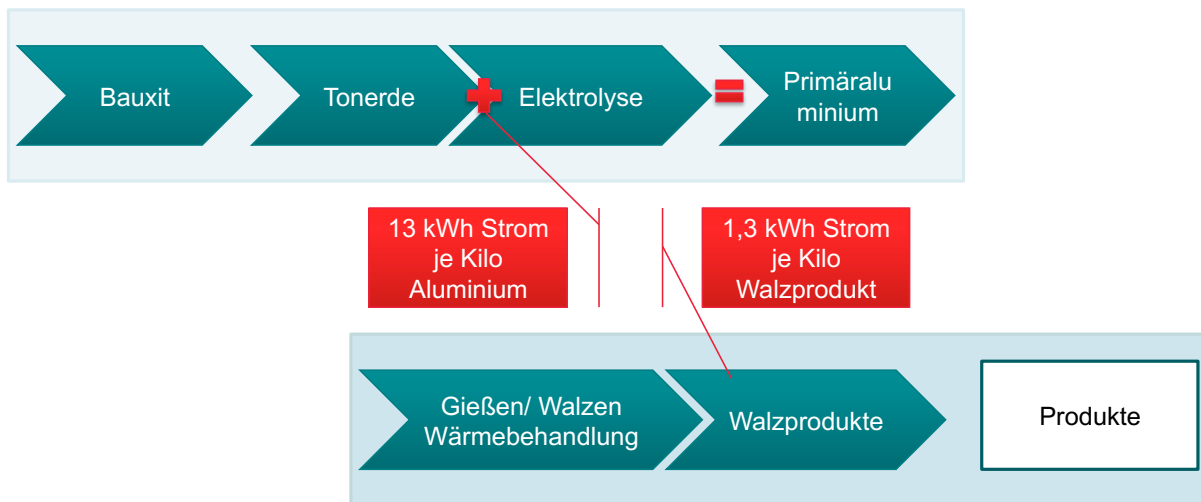


Abbildung 3: Wertschöpfungskette von Aluminium

Quellen: In Anlehnung an (Norsk Hydro ASA) und (Aluminium Norf GmbH 2014b) mit Daten aus (IEA 2009)

9.2.6 Förderungen

Zwanzig Prozent des Projektes wurden aus dem Umweltinnovationsprogramm des BMUB gefördert. Dies entspricht einer Fördersumme von 1,5 Mio. €. Unterstützung bei der Umsetzung erhielt Alunorf durch die Effizienz-Agentur NRW aus Duisburg mittels Beratung, Prüfung der Maßnahmen sowie der anschließenden Erstellung einer Projektskizze. (EFFIZIENZ-AGENTUR NRW 2014)

9.2.7 Nebenfolgen

Zum derzeitigen Zeitpunkt der Recherche sind durch das neue Ofenkonzept keine Nebenfolgen bekannt.

Jedoch sind die grundsätzlichen hohen Emissionen für Aluminium und daraus hergestellte Produkte, wie im Abschnitt zu Relevanz und Übertragbarkeit schon erläutert, weiter bestehend.

9.2.8 Marktüberblick

Die weltweite Verwendung von Aluminium beträgt rund 56 Mio. T pro Jahr, in Europa liegt sie bei 11 Mio. T, in Deutschland bei 2,9 Mio. T. Mehr als 30 % des eingesetzten

Aluminiums stammen aus recycelten Produkten. (Aluminium Norf GmbH 2014a)

Auf dem Sektor der gewalzten Aluminium-Halbzeuge stellt Alunorf mit über 1,5 Millionen Tonnen etwa 75% der deutschen Gesamtmenge. Wichtige Verwendungssektoren sind Verkehr, Bauwesen, Maschinenbau und Verpackung.

Die Produktion von Halbzeug (Walz- und Strangpressprodukte sowie Drähte und Schmiedeteile) beträgt mehr als 2,5 Millionen Tonnen, der Formguss liegt bei rund 990.000 Tonnen in Deutschland. Die Aluminiumweiterverarbeitung erstreckt sich auf die Herstellung von Folien und dünnen Bändern (271.000 Tonnen), die Fertigung von Tuben, Dosen und Fließpressteilen (43.000 Tonnen) sowie auf die Herstellung von Aluminiumpulver (35.000 Tonnen).

Der gesamte Branchenumsatz von 15,2 Milliarden Euro wird von rund 74.000 Mitarbeitern in 600 Betrieben erwirtschaftet. (Aluminium Norf GmbH- Alufacts 2014)

9.2.9 Innovationsprozess

Die Idee, die Abwärme der Aluminiumbänder (coils) zu nutzen bestand schon lange, jedoch schränken die von den Kunden geforderten Produkteigenschaften die Möglichkeiten der Prozessoptimierung ein. Als dann im Werk Neuss 5 alte Öfen durch neue ersetzt werden mussten, wurde ein neuer Versuch gestartet zusätzlich zu effizienteren Öfen ein neues "Glühmodell" zu entwickeln in dem die Wärme aus dem Kaltwalzen weiter genutzt werden kann.

Der Innovationsprozess ist einerseits eingebettet in eine systematische Strategie des Unternehmens, Energieeffizienzpotentiale bei der Anschaffung neuer Produktionsanlagen zu erschließen. Dabei zeigt sich dass im Innovationsprozess internes und externes Know-how zusammen fließen. Öffentliche Fördergelder dienen als Katalysator.

9.2.10 Erfolgsfaktoren

9.2.11 Interne Treiber der Innovation:

Systematischer Prozess Energieeffizienz zu fördern

Alunorf hat das dauerhafte und langfristige Ziel, seine Energieeffizienz ständig zu verbessern. Jährlich sollen 1-1,5% des spezifischen Energieeinsatzes reduziert werden. Bei gleichzeitigem Mengenwachstum um 2-5% p.a. wird der absolute Energieeinsatz dennoch weiter steigen. Die Reduktion des Energieeinsatzes gelingt in der Regel über ein Bündel vieler verschiedener Maßnahmen. In diesem Sinne ist das optimierte Glühmodell der coils eine besonders herausragende Einzelmaßnahme, die für diesen spezifischen Prozessschritt erhebliche Einsparungen erzielte. Nach Einschätzung von Alunorf ist es aber nicht möglich, ähnlich hohe Effizienzsteigerungen in anderen Prozessschritten zu erzielen oder in Zukunft wieder zu erreichen. Bezogen auf den

Gesamtenergieverbrauch des Werkes führen, wie oben erwähnt, die hier beschriebenen Innovationen zu einer Erhöhung der Energieeffizienz um etwa ein Prozent.

Seit 1990 werden gezielt und systematisch Verbesserungen der Energieeffizienz im Unternehmen vorangetrieben. Dies geschieht im wesentlichen aus der Motivation die erheblichen Energiekosten in der Produktion zu senken. Es gibt firmenintern verschiedene Institutionen und Maßnahmen um diesen Optimierungsprozess zu unterstützen: Ein Energieeffizienzkreis, geleitet von der Abteilung Energie/Umwelt, identifiziert mit dem Experten aus den Produktionsabteilungen Verbesserungsmöglichkeiten. Darüber hinaus gibt es mehrere Verfahren, wie betriebliche Verbesserungsvorschläge eingereicht werden können. Außerdem sind in der Produktion viele Anlagen mit online-Monitoring Instrumenten ausgestattet, die dem Bediener in Echtzeit darstellen, wieviel Strom oder Gas seine Anlage gerade verbraucht.

Die betriebsinternen Verfahren von Alunorf sehen vor, dass immer dann, wenn ohnehin investiert werden muss (neue Anlagen angeschafft oder alter ersetzt werden müssen) nach Möglichkeit in effizientere Anlagen investiert wird, wie beispielsweise beim Austausch von Brennern durch Regenerativbrennern oder Elektromotoren mit Frequenzregelung. Die beiden Gesellschafter (Hydro Aluminium und Novelis) machen hierbei Vorgaben zur Amortisationszeit. Es ist also so, dass eher selten von sich aus in effizientere Anlagen investiert wird, sondern eher, dass Neuanschaffungen ein Möglichkeitsfenster für Effizienzverbesserungen darstellen.

9.2.12 Externe Treiber der Innovation:

Regionale Kooperation - mit Anlagenbauer und Forschungsinstituten

Für das Projekt wurde gezielt der Anlagenbauer Otto Junker GmbH ausgewählt, da Alunorf davon überzeugt war, dass diese Firma nicht nur in der Lage wäre einen effizienten Ofen zu günstigen Preisen zu liefern, sondern darüber hinaus auch fähig ein funktionsfähiges innovatives Glühkonzept gemeinsam mit Alunorf zu entwickeln.

Dabei erstreckte sich der Entwicklungsprozess über zwei Jahre: zunächst wurden die alten Öfen im Werk durch neue ersetzt. Diese wurde aber zunächst ähnlich gefahren, wie die alten. Im laufenden Betrieb wurden dann Messdaten erhoben, Modelle entwickelt und Schritt für Schritt Optimierungen umgesetzt. Erst nach zwei Jahren war es soweit, dass die Öfen mit dem neuen Glühkonzept die für die Produktion erforderlichen Leistungsnachweise erbrachten.

Aus Sicht von Alunorf war es für eine derart komplexe Entwicklungsaufgabe notwendig, einen Partner zu haben, der nicht zu weit entfernt vom Werk lokalisiert ist, so dass gemeinsame Experimente in der Produktion und ad-hoc Besprechungen möglich waren.

In der Entwicklung wurde mit mehreren wissenschaftlichen Instituten kooperiert. Besonders die Unterstützung durch die RWTH Aachen (etwa bei der Modellierung) wird von Alunorf als sehr fruchtbar bewertet.

Alunorf betrachtet es als wichtigen Standortvorteil von NRW, dass industrielle Betriebe, Anlagenbauer und Forschungsinstitute auf geographisch engem Raum konzentriert sind

Förderung und Beratung durch Energieeffizienzagentur

Nach Aussagen von Alunorf wäre die Innovation nicht umgesetzt worden, wenn keine öffentliche Förderung zur Verfügung gestanden hätte. 1,5 Mio € der Investitionssumme von 7,6 Mio € wurden durch das Umweltinnovationsprogramm des BMUB bezuschusst. So konnte die Amortisationszeit erheblich gesenkt werden.

Ausschlaggebend war aus Sicht des Unternehmens die Beratung durch die EffizienzAgentur NRW. Sie hat dem Unternehmen geholfen, den geeigneten Fördertopf zu identifizieren und die Antragsunterlagen zu beschaffen, so dass Alunorf relativ schnell davon ausgehen konnte, dass eine Förderung wahrscheinlich ist.

Dabei ist die Kombination von sowohl technischem als auch kaufmännischem Wissen in der Effizienzagentur ein entscheidender Erfolgsfaktor gewesen.

Ausblick - Multiplikation der Innovation

Alunorf hat bewusst verzichtet, sich die Innovation schützen zu lassen und Otto Juncker in die Lage versetzt, die Technik anderwertig zu verkaufen. Alunorf hat bewusst auf ein Patent verzichtet. Dies liegt zum einen (formal) daran, dass das entwickelte Verfahren ja Gegenstand öffentlicher Förderung war.

Entscheidend scheint aber zu sein, dass es beim Glühen sich aus Sicht von Alunorf eher um einen Nebenprozess handelt. Die Kernkompetenz des Unternehmens liegt vor allem im Prozess des Walzens. Wenn hier Innovationen entwickelt werden, ist dies für das Unternehmen sensibler und es

würde versuchen Entwicklungen durch Patente zu sichern.

Diese Konstellation führt nun dazu, dass der Anlagenbauer die im Innovationsprozess gewonnenen Erkenntnisse weiter nutzen und anderen Firmen anbieten kann. Wenngleich das Verfahren wohl mit relativ

hohem Aufwand an neue Standorte angepasst werden muss, so ist dadurch doch eine Replizierbarkeit der Innovation gegeben.

9.2.13 Quellen:

Neben dem Interview mit einem Experten aus dem Unternehmen, wurden folgende Quellen für die Fallstudie herangezogen:

- Aluminium Norf GmbH. 2014a. Wirtschaftliche Bedeutung. *Alunorf | Alufacts*. <https://www.alunorf.de/alunorf/alunorf.nsf/id/wirtschaftliche-bedeutung-de> (zugegriffen: 8. März 2016).
- Aluminium Norf GmbH. 2014b. Umwelterklärung 2014. Neuss: GUT Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme. [https://www.alunorf.de/alunorf/alunorf.nsf/res/Umwelterkl%C3%A4rung_2014d.pdf/\\$file/Umwelterkl%C3%A4rung_2014d.pdf](https://www.alunorf.de/alunorf/alunorf.nsf/res/Umwelterkl%C3%A4rung_2014d.pdf/$file/Umwelterkl%C3%A4rung_2014d.pdf) (zugegriffen: 28. September 2016).
- EFFIZIENZ-AGENTUR NRW. 2014. NRW-UMWELTMINISTER REMMEL BESUCHT ALUMINIUM NORF - INNOVATIVE WÄRMEBEHANDLUNG STEIGERT ENERGIEEFFIZIENZ. *efa+ Effizienz Agentur NRW*. <http://www.ressourceneffizienz.de/weitere/presse/nachrichten-lesen/news/detail/News/nrw-umweltminister-remmel-besucht-aluminium-norf-innovative-waermebehandlung-steigert-energieeffiz.html> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Energy Awards, Handelsblatt. 2014. Energy Awards 2014: Nominiert in der Kategorie „Gewerbliche Anlage“. *Energy Awards Handelsblatt*. http://energyawards.handelsblatt.com/fileadmin/upload/Finalisten/2014/Dossier_-_2014_-_Aluminiumwerk_Alunorf_in_Neuss.pdf (zugegriffen: 8. Oktober 2016).
- IEA, International Energy Agency. 2009. Energy Technology transitions for industry. Strategies for the Next Industrial Revolution. Paris.
- Metalle pro Klima, Eine Unternehmensinitiative in der Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. 2016. ERHÖHUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ. *METALLE PRO KLIMA*. <http://metalleproklima.de/impressum/> (zugegriffen: 8. Oktober 2016).
- Norsk Hydro ASA. Die Wertschöpfungskette für Aluminium. *Die Wertschöpfungskette für Aluminium*. <http://www.hydro.com/de/Deutschland/Uberuns/Wertschöpfungskette-fur-Aluminium/> (zugegriffen: 23. September 2016).
- Steffen, Michael Peter. 2016. Alunorf aus Neuss erhält Best Practice Award für Energieeffizienz. *Hydro Aluminium Deutschland GmbH*. 4. Juni. <http://www.hydro.com/de/Deutschland/Presse/Nachrichten/2016/Alunorf-aus-Neuss-erhalt-Best-Practice-Award-fur-Energieeffizienz/> (zugegriffen: 8. Oktober 2016).
- Trepels, Dipl.-Ing. Olaf, Dipl.-Ing. Andreas Kunsleben und Dipl.-Kfm. Marcus Lode. 2014. Errichtung innovativer, energieeffizienter Glühöfen mit Online-Prozessregelung und Schutzgasvorwärmung. Abschlussbericht. Duisburg: Bundesumweltministerium. http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/abschlussbericht_final_13032014.pdf (zugegriffen: 8. Oktober 2016).
- Woher, Martin. 2015. ALUNORF Energiesparen im Dauermodus. *Handelsblatt*. 16. November. <http://www.handelsblatt.com/technik/energie-umwelt/alunorf-7-6-millionen-euro-hat-die-investition-gekostet/12597238-2.html> (zugegriffen: 10. August 2016).

9.3 Sunfire GmbH



9.3.1 Beschreibung des Unternehmens

Die im Jahr 2010 in Bremen gegründete Sunfire GmbH hat ca. 70 Mitarbeiter und plant bis 2018 auf 140 anzuwachsen. Sunfires Wurzeln liegen in mehreren Technologie-Unternehmen, die ab Mitte der 1990er Jahre in Sachsen entstanden waren: die CRG Kohlenstoffrecycling aus Freiberg (1995) und die Staxera (2005) aus Dresden. Nach der Fusion konzentrierte sich Sunfire vor allem auf keramische Zellen, wie sie am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und

Systeme (IKTS) entwickelt wurden (Landeshauptstadt Dresden, Amt für Wirtschaftsförderung 2015). Heute sind ca. 60% der Mitarbeiter von Sunfire Absolventen der Hochschulen Dresdens. Im Jahr 2011 entschieden sich die Gründer und Investoren von Sunfire zudem zur Übernahme der Staxera GmbH, um die Kompetenzen und das Knowhow beider Unternehmen im Bereich der Hochtemperatur-Dampf-Elektrolyse (SOEC) und der Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC) zu bündeln. Staxera hatte sich inzwischen zum führenden Produzenten

von Brennstoffzellen-Stacks entwickelt. Als gemeinsamen Standort wählte das Management den Staxera-Standort in Dresden aus. Der Wechsel von Bremen nach Dresden erfolgte, da die von Sunfire übernommene Firma Staxera GmbH 25 Mitarbeiter hatte, wohingegen Sunfire aus Bremen zum damaligen Zeitpunkt nur aus drei Mitarbeitern bestand. Sunfire hat seit seiner Gründung also (Teile von) Unternehmen übernommen, die für sich allein genommen kein Geschäftsmodell mehr hatten. Vor allem strategische Gründe gaben den Ausschlag für die Übernahme der Staxera-Technologie, da sich der Fokus von Sunfire zu dieser Zeit vom Nischenmarkt für mobile Brennstoffzellen im Offgrid-Bereich auf stationäre, reversible Brennstoffzellen-Anwendungen im Massenmarkt ändern sollte.

Auf der Basis des kombinierten Knowhows wurde eine reversible Brennstoffzelle realisiert – die Reversible Solid Oxide Cell (RSOC) (vgl. Sommerlatte 2015), die auch als Power-to-Liquids-Anlage eingesetzt werden kann (s. Beschreibung der Innovation). Im November 2014 wurde im Beisein von Bundesforschungsministerin Prof. Dr. Johanna Wanka die Power-to-Liquids-Demonstrationsanlage am Firmenstandort Dresden eröffnet. Wenige Monate später konnte der Nachweis erbracht werden, dass Sunfire mit seiner Technologie aus Wasser, CO₂ und Ökostrom synthetische Kohlenwasserstoffe (Kraftstoffe) produzieren kann (Weckbrodt 2015). Damit wurden die Funktionsfähigkeit und die Anwendbarkeit des Power-to-Liquids-Verfahrens nachgewiesen.

Sunfire arbeitet mit Partnern wie Audi, Vaillant, Boeing oder ThyssenKrupp Marine Systems zusammen. Ziel des Unternehmens ist die konsequente Weiterentwicklung von SOEC und SOFC sowie die

Industrialisierung der reversiblen Brennstoffzelle RSOC (Landeshauptstadt Dresden, Amt für Wirtschaftsförderung 2015).

Diese Weiterentwicklung ist Voraussetzung für die Etablierung der Sunfire-Technologien in einem dezentralen Energiesystem der Zukunft, jedoch hängt der zukünftige Erfolg des Unternehmens noch von weiteren Faktoren ab (s.u.). Das Unternehmen wurde jüngst wieder unter den 100 wichtigsten Cleantech-Unternehmen sowie unter den 10 innovativsten Unternehmen im Bereich „Energie“ weltweit ausgezeichnet (Energy Saxony e. V. 2016).

9.3.2 Beschreibung der Innovation (Art & Bereich)

Das reversible Elektrolyseverfahren dient dazu, Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. Wasserstoff kann sowohl für industrielle Prozesse wie auch energetisch weiter verwendet werden. Damit ist es möglich, in einer kleinen, dezentralen Anlage Überschussstrom in Wasserstoff umzuwandeln und in hochkomprimierter Form zu lagern und damit zu Spitzenlastzeiten einen Beitrag zur Flexibilisierung des Stromsystems zu leisten (Energieaufnahme-Modus). Andererseits kann die Anlage als Brennstoffzelle verwendet werden, um Strom aus dem gespeicherten Wasserstoff zu produzieren (Brennstoffzellenmodus). Herzstück der Anlage ist eine Festoxidbrennstoffzelle. Diese kann so dimensioniert werden, dass sie in einen Standardcontainer untergebracht werden kann und damit auch leicht transportierbar und installierbar ist.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Hochtemperaturdampfelektrolyse ist die Herstellung eines synthetischen Erdgases (Methan) oder Erdölersatzes (Blue Crude), um daraus Chemikalien oder Kraft-

stoffe wie Benzin, Diesel („sunfire Diesel“) oder Kerosin zu erzeugen. In dem Verfahren werden synthetische flüssige Kraftstoffe hergestellt (Power-to-Liquids), wofür der Wasserstoff aus der Elektrolyse genutzt wird. In einem zweiten Schritt wird CO₂ zu Kohlenmonoxid (CO) konvertiert. Im dritten Schritt erfolgt eine Zusammenführung des Kohlenmonoxids mit Wasserstoff (CO und H₂) zu Kohlenwasserstoff. So wird ein Energieträger gewonnen, der u.a. in der chemischen Industrie weltweit genutzt wird, bisher jedoch v.a. aus Erdöl und Erdgas gewonnen wird. Auf Kohlenwasserstoffen basieren zudem auch die herkömmlichen Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel. Bei Sunfire können aus dem synthetischen Kohlenwasserstoff im Fischer-Tropsch-Verfahren flüssige Brennstoffe für Verbrennungsmotoren der Luftfahrt und der Automobilindustrie hergestellt werden. Die Sunfire-Anlagen produzieren also keinen völlig neuen Kraftstoff, sondern eine bekannte chemische Verbindung, die normalerweise in Raffinerien aus Erdöl hergestellt wird und hier theoretisch ohne fossile Rohstoffe synthetisch gewonnen werden kann – vorausgesetzt, der Prozess wird zu 100% mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben.

Es existieren viele potenzielle CO₂-Quellen (Zementwerke, Düngemittelfabriken, Biogasanlagen, Biomassekraftwerke, etc.), die für die Kraftstoffsynthese verwendet werden können. In Zusam-

menarbeit mit der Firma Climeworks AG kann das benötigte CO₂ direkt der Atmosphäre entnommen werden (Direct Air Capture – DAC).

9.3.3 Energieverbrauch, Emissionen

Sunfire ist ein Beispiel für die Entwicklung einer neuen Technologielinie. Daher macht eine Bewertung auf Grundlage einer einzelnen Anlage wenig Sinn und es müsste der Beitrag zum gesamten Energiesystem abgeschätzt werden.

Unter der Annahme, dass Strom vorwiegend aus erneuerbaren Energien hergestellt wird, könnte die Herstellung von synthetischen Brennstoffen massive Emissionsreduktionen im Verkehrsbereich erwirken. Berechnungen der Universität Stuttgart zeigen in einem Well-to-Wheel Vergleich, dass ‚Blue Crude‘ gegenüber fossilen Kraftstoffen ein CO₂-Einsparpotenzial von 35 bis über 85 Prozent aufweist und unter bestimmten Bedingungen erhebliche Vorteile für die Umwelt bringen kann. Das Einsparpotenzial hängt, wie in Abbildung 9 dargestellt ist, davon ab, mit welchem Strom der von Sunfire hergestellte Kraftstoff hergestellt wird. (Viehmann 2016)

Der von Sunfire hergestellte Kraftstoff „Blue Crude“ enthält keinen Schwefel und ist insgesamt klima- und CO_x-neutral. Die Power-to-Liquids-Technologie erreicht System-Wirkungsgrade von ca. 70 Prozent (BMBF2014).

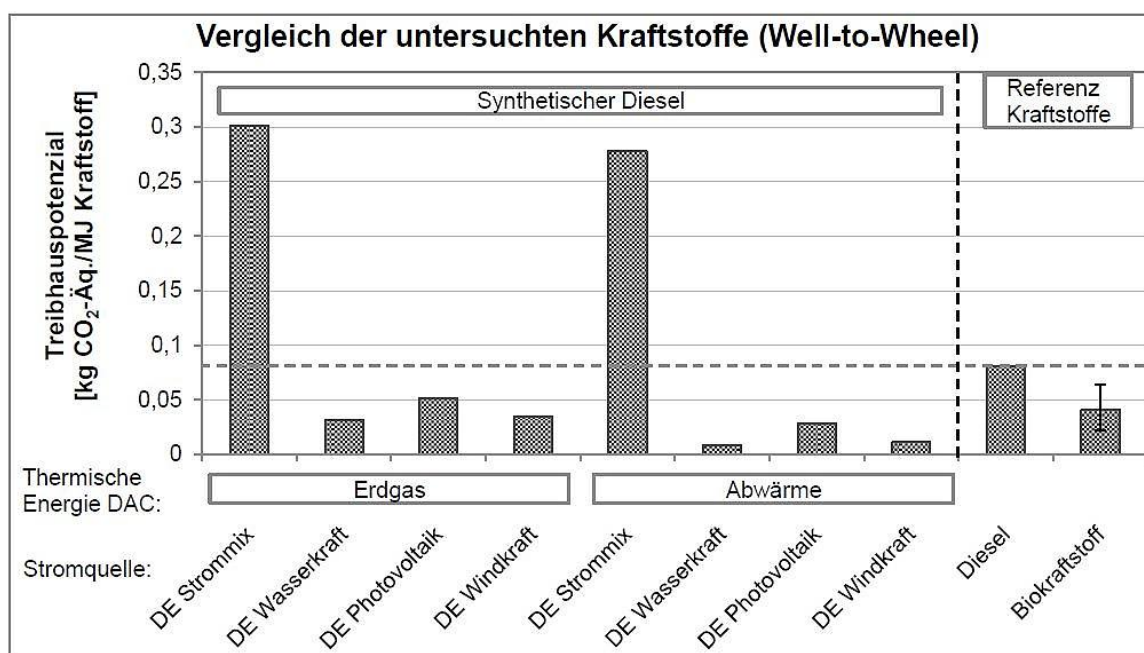


Abbildung 4: Vergleich des Treibhauspotenzials von synthetischem Diesel und Kraftstoffen

Quelle: (Viehmann 2016)

9.3.4 Kostensenkungen

Bisher würde ein Liter des Kraftstoffs „Blue Crude“ zwischen 1,20 € und 1,30 € pro Liter bei kommerzieller Fertigung kosten. Hinzu käme gegebenenfalls noch die Mineralölsteuer- falls der Bund nicht auf diese verzichten würde. (Viehmann 2016). Somit würde aus Sicht der Verbraucher der Kauf des synthetischen Kraftstoffes höhere Kosten als der Kauf von Diesel verursachen (vgl. Erfolgsfaktoren extern).

Weiterhin führt sunfire an, dass durch den Aufbau der PtL-Synthese-produktion Wertschöpfungseffekte in Deutschland auftreten würden, die durch regenerative Kraftstoffe auf biogener Basis nicht in diesem Maße entstehen.

9.3.5 Relevanz und Übertragbarkeit

Die reversible Brennstoffzelle hat eine hohe Relevanz für die Umsetzung der Energiewende, da sie helfen kann, Erzeugungs- und Lastspitzen von fluktuierenden Erneuerbaren (Solar und Wind) in der Stromproduktion abzufedern. Überschussstrom kann damit chemisch (H₂ oder Methan bzw. langkettige Kohlenwasserstoffe) gespeichert werden. Die Weiterverarbeitung zu flüssigen Treibstoffen ist insbesondere interessant, weil diese direkt für Mobilitätsanwendungen verwendet werden können - ein Bereich in dem CO₂-Reduktionen nicht erreicht wurden. Flüssige Brennstoffe haben gegenüber Wasserstoff den Vorteil einer wesentlich höheren Energiedichte, was einer größeren Reichweite von Autos entspricht.

Die Sunfire Technologien befinden sich noch im vorindustriellen Entwicklungs- und Demonstrationsstadium. Die Massenmarkt-Tauglichkeit und Skalierung muss die Technologie noch unter Beweis stellen. Die Technologie hat jedoch das Potential, sowohl als chemischer Energiespeicher für das Stromnetz zu dienen als auch, um CO₂-arme Treibstoffe (drop-in Kraftstoffe) für den Verkehr bereit zu stellen.

9.3.6 Förderungen

Sunfire wird innerhalb des Programms „Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in Höhe von 6,4 Mio. € gefördert und ist eine Maßnahme der neuen Hightech-Strategie, welche Ideen schnell in innovative Produkte und Dienstleistungen überführen soll (BMBF 2014).

Unterstützt wird das Unternehmen von Business Angels („Sunfire Entrepreneurs‘ Club“), INVEN Capital, dem ERP Startfonds der KfW, Total Energy Ventures sowie Electranova Capital, finanziert durch die EDF Group und die Allianz in Höhe von 4,0 Mio. €. (Energy Saxony e. V. 2016; Weckbrodt 2014)

9.3.7 Nebenfolgen

Ein Arbeitspaket der Universität Stuttgart im Rahmen des o.g. BMBF-Projekts hat ergeben, dass das Treibhauspotenzial von „Blue Crude“ erheblich höher ist als das von Diesel oder Benzin, wenn der synthetische Kraftstoff mit dem normalen deutschen Strommix produziert würde. (Viehmann 2016) Durch die unterschiedlichen chemischen Prozesse unter Einbezug relativ reaktionsträger Inputs (z.B. CO₂) ist der Energiebedarf zur Herstellung eines 1 Liters BlueCrude im vgl. zu 1 Liter herkömmlichen Benzin sehr hoch.

Daher ist der Einsatz von Grünstrom essentiell für diesen Prozess. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass erneuerbare Energietechnologien zwar CO₂-neutral Strom produzieren, jedoch material- und flächenintensiv sind. Daher löst der Einsatz von synthetischem Kohlenwasserstoff zwar die Abhängigkeit unseres Wirtschaftssystems und der Lebensstile von fossilen Energieträgern, führt jedoch gleichzeitig zu einer Verlagerung zu anderen knappen Input-Faktoren (v.a. Fläche und Ressourcen für EE-Technologien). Dies wird umso brisanter, als dass die Bundesregierung das Ziel formuliert hat, den Gesamtflächenverbrauch in Deutschland bis 2020 auf 30 Hektar pro Tag zu reduzieren. Allein für Siedlungs- und Verkehrsflächen wurden in Deutschland im Jahr 2015 rund 69 Hektar neu ausgewiesen.

Die synthetischen Kraftstoffe werden in einem zukünftigen Energie- und Mobilitätssystem wahrscheinlich nicht dieselbe Verkehrsleistung im Bereich MIV bedienen können wie derzeit die fossilen Kraftstoffe. Daher wäre eine systematische Analyse aller Verkehrsträger aus Sicht des Wuppertal Instituts wichtig.

9.3.8 Marktüberblick

Während die Autoindustrie viel in die Forschung und Entwicklung von Elektro- und Hybrid-Autos investiert, erfolgen ebenso weiterhin viele Investitionen u.a. der Mineralölbranche in alternative Kraftstoffe, um Verbrennungsmotoren mit deren guter Energieausbeute weiterzuentwickeln. Neben Erdgas und Biokraftstoffen sind dies auch die synthetischen Kraftstoffe.

Der Kraftstoff „sunfire Diesel“ hat den Vorteil, dass er zunächst auch als Beimischung für normalen Diesel dienen könnte: Die Cetanzahl (je höher die Cetanzahl,

desto besser entzündet sich der Diesel) von „sunfire Diesel“ ist höher als bei teuren Premium-Dieseln und könnte somit die Zündfähigkeit von Dieselmotoren optimieren. (Viehmann 2016)

Insgesamt geht es Sunfire neben der weiteren Technologie-Validierung darum, die Industrialisierung der Technologie voranzutreiben.

9.3.9 Innovationsprozess

Die Gründer von Sunfire haben die Vision, durch Nutzung regenerativer Elektrizität aus Wasser und CO₂ aus der Luft Flüssigkraftstoffe und Gase herzustellen. Die Ideen für die reversible Elektrolyse stammen jedoch aus der schon seit Jahrzehnten bestehenden Forschung: Aus CO₂ und Wasser soll der Prozess der Verbrennung zurückgeführt werden können, so dass man die Oxidation von Kohlenstoff und Wasserstoff wieder zurückführen kann und dabei z.B. Kohlenwasserstoffe als Chemikalien erhalten kann. Das Thema wurde in wissenschaftlichen und industriellen Forschungsinstituten schon länger behandelt – Sunfire ist also nicht „der Erfinder“ dieser Technologie. Vorreiter hierfür war ein Patent aus dem Jahre 2006, welches Sunfire überlassen wurde.

Im Jahr 2008 gaben Carl Berninghausen, Christian von Olshausen und Nils Aldag eine wirtschaftliche und technische Machbarkeitsstudie in Auftrag. In Kooperation mit einem deutschen Autobauer und Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft sollte die Studie klären, ob Flüssigkraftstoffe und Gase wie Wasserstoff oder Methan auf Grundlage der überall verfügbaren Ressourcen Wasser, CO₂ und regenerative Elektrizität überhaupt produziert und wirtschaftlich hergestellt werden

können. Zu diesem Zweck wurde auch eine Laboranlage gebaut.

Als wichtigste Komponente identifizierten die Partner die Solid Oxide Electrolyser Cell (SOEC), eine Hochtemperatur-Elektrolyse, die nicht nur flüssiges, sondern auch gasförmiges Wasser (Wasserdampf) in seine Bestandteile zerlegt. Dadurch muss die sogenannte Verdampfungsenthalpie nicht mit teurer elektrischer Energie überwunden werden. Vielmehr kann hierzu Abwärme etwa aus industriellen Prozessen Verwendung finden – gelingt das, kann der Wirkungsgrad der SOEC auf mehr als 85 Prozent gesteigert werden.

Schon ab 2001 hatte sich in Dresden ein Cluster aus Wirtschaft und Wissenschaft gebildet, das sich mit der zur SOEC komplementären Technologie beschäftigte – der Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC, Solid Oxide Fuel Cell). Zu diesem Cluster zählte neben dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) auch die Staxera GmbH, ein Joint Venture der Webasto AG mit der Bayer-Tochter H.C. Starck GmbH.

Durch die Entstehungsgeschichte von Sunfire und die Fusion mit (Teilen) anderer Unternehmen wie der Staxera GmbH verfügt Sunfire nun über zwei zukunftsgerichtete technische Strategien, mit welchen mehrere große Anwendungsfelder erschlossen werden könnten:

- **Power-to-Gas und Power-to-Liquids (s.o.):** Mit diesem Verfahren werden in einem mehrstufigen Prozess gasförmige oder flüssige Brenn- und Kraftstoffe (unter Nutzung der Sabatier- oder Fischer-Tropsch-Synthese hergestellt) u.a. Methan, Methanol, Benzin, Kerosin und Diesel. Anwendungsgebiete: Speicherung im Erdgasnetz, Beimischung zu Kfz-Kraftstoffen, Kerosin für die Luftfahrt sowie die Versorgung der chemischen Industrie.

- SOFC-Brennstoffzellen, mit welcher Gas-to-Power (Stromerzeugung) durchgeführt werden kann. Anwendungsgebiete: BHKW, netzunabhängige Stromversorgung an Standorten, an denen kein Zugang zu einem Stromnetz besteht (Pipelines, Schiffe). (Sommerlatte und Schröder 2015)

Charakteristisch für Sunfire ist die frühe und enge Einbindung von B2B-Kunden sowie derer finanzieller Beteiligung an Entwicklungsaufwendungen. Ebenso pflegt das Unternehmen vielfältige Kontakte mit einschlägigen universitären Forschungsbereichen, von denen dann auch neue Mitarbeiter rekrutiert werden, genauso wie die Pflege von Mitgliedschaften in großen Projekten zu Themen der Energiewirtschaft. Ebenso ist ein enger Kontakt zu direktem Wettbewerb bei Projekten und gemeinsamer politischer Zusammenarbeit üblich. (Sommerlatte und Schröder 2015)

Das Unternehmen erläutert, dass viele Enttäuschungen in der Brennstoffzellenentwicklung zu einer skeptischen Haltung der Kunden geführt habe, wodurch nun ein erhöhter Überzeugungsaufwand von Nöten ist.

Ein hemmender Faktor sei zudem die fehlende Planbarkeit im Energiesektor wegen der volatilen regulatorischen Rahmenbedingungen. Darüber hinaus sind Kraftstoffe aus dem Power-to-Liquids-Verfahren bisher nicht als erneuerbare Kraftstoffe im Sinne des Gesetzes eingeordnet.

Für die Umsatzentwicklung von Sunfire ist mittlerweile nicht mehr die weitere Technologieentwicklung limitierend, sondern die Entwicklung von Märkten für ihre Produkte, wofür sie auf politische Unterstützung angewiesen ist. Das Unternehmen konzentriert sich derzeit auf Marktnischen, die möglichst ohne Sub-

ventionen durch Einsatz der SoFC-Brennstoffzellen-technologie einen wirtschaftlichen Vorteil bieten. Diese Vorteile sind hauptsächlich im Off-Grid-Bereich möglich. Als treibende Faktoren für den Einsatz von SOFC-Brennstoffzellen kann man den inzwischen erreichten Entwicklungsstand dieser Technologie betrachten.

Damit das Unternehmen jedoch die Power-to-Gas- und Power-to-Liquids-Technologielinie inkl. der „sunfire-Diesel“ Produktion in der Breite einsetzen kann, müsste der Sprung in die industrielle Mengenproduktion geschafft werden. Laut Sunfire kann die Bewilligung von weiteren Technologiefördermitteln hier nicht helfen, die verzögernde Wirkung politischer Hemmnisse auszugleichen (Sommerlatte und Schröder 2015). Als treibenden Faktor dieser Technologien kann man den zunehmenden Anteil erneuerbarer Energie an der gesamten Stromerzeugung und den dadurch entstehenden Bedarf an Power-to-Gas-Lösungen sowie die wachsenden Unsicherheiten der Verfügbarkeit von Öl und Gas und deren klimaschädigenden Ausstoß betrachten.

9.3.10 Erfolgsfaktoren

9.3.11 Interne Treiber der Innovation:

Die wichtigsten internen Erfolgsfaktoren für Sunfire waren zum einen eine gute Basistechnologie, die von der Staxera GmbH übernommen werden konnte, und das kritische Wissen im Unternehmen.

Basistechnologie

Als wichtigen Erfolgsfaktor nennt ein Vertreter des Unternehmens im Interview mit

Wissenschaftlern des Wuppertal Instituts, dass mit der Übernahme von Teilen der Staxera GmbH auch der „Staxera Stack“ (Hochtemperatur-Brennstoffzelle, SOFC) übernommen werden konnte.

Kritisches Wissen

Sunfire hält mehr als 30 Patente. Das Unternehmen schätzt jedoch die strategische Bedeutung des im Unternehmen vorhandenen Know-Hows bezüglich Rezepturen, Produktionsmechanismen, Toleranzketten und ähnlichen operativen Kompetenzen als mindestens ebenso entscheidend ein. (Sommerlatte und Schröder 2015)

Im Interview nannte ein Experte aus dem Unternehmen, dass das hervorragende Team von Sunfire ein Erfolgsfaktor sei. Der innovative Ruf der Sunfire GmbH und der Standort Dresden sorgen überdies dafür, dass das Unternehmen als attraktiver Arbeitgeber angesehen wird und Spitzenabsolventen gewinnen kann. In Dresden habe man die höchste Fachkräftedichte in Deutschland. Team, Knowhow und die Arbeitsweise in Sachsen haben sich als extrem wichtig für den Innovationsprozess erwiesen.

Grundsätzlich merkt der Sunfire-Experte an, dass Energieverfahrenstechniker in der Lausitz aufgrund des Abbaus von Braunkohle leichter zu finden seien als in Bremen. Die Mitarbeiter arbeiten sehr gut, konzentriert und diszipliniert. Solch ein Team fände man woanders vermutlich nicht so leicht.

9.3.12 Externe Treiber der Innovation:

Die beiden wichtigsten unternehmens-externen Erfolgsfaktoren sind die Kooperationen mit anderen wissens-intensiven Unternehmen sowie die zukünftige politi-

sche Regulierung im Bereich Energie- und Klimapolitik

Unternehmenskooperationen

Sunfire kooperiert sowohl lokal wie auch national und international (Europa und USA). Die Nähe und Kooperation zu Instituten, die einen Fachbereich abbilden, welcher von Sunfire nicht direkt beherrscht wird, ist sehr wichtig für die Entwicklung.

Seit Gründung arbeitet und kooperiert Sunfire mit Unternehmen und Forschungsinstitutionen aus der Umgebung: So ist Sunfire Bestandteil des Clusters „Energy-Saxony“, nutzt nach eigenen Angaben die vielfältige F&E-Landschaft, erhält Förderungen durch die sächsische AufbauBank sowie eine engagierte Wirtschaftsförderung und nutzt das regionale mittelständische Zuliefererumfeld sowie den damit verbundenen Know-how-Transfer zwischen den Unternehmen.

Energiepolitische Rahmensetzungen

Die größte Herausforderung zum jetzigen Zeitpunkt ist, dass die regulatorischen Rahmenbedingungen für eine Markteinführung des Sunfire-Prozesses bzw. seiner Endprodukte nicht gegeben sind. Die Herausforderung ist also weniger die technische Realisierung, sondern die Wirtschaftlichkeit für Anlagenbetreiber und Endkunden. Zielgruppen sind neben der Kraftstoffraffinerie auch die Chemie- und die Kosmetikindustrie. Es gibt noch keinen Markt für synthetische Kraftstoffe. Auch im Bereich der industriellen Anwendungen ist Sunfire auf Partner angewiesen, die neue Geschäftsmodelle entwickeln wollen (bspw. Pilotprojekt mit Audi). Das Unternehmen macht konkrete Vorschläge für die Marktentwicklung und

argumentiert u.a., dass seine synthetischen Kraftstoffe nicht mit den gleichen Steuern und Abgaben belastet werden müssten wie die klassischen fossilen Kraftstoffe.

Sollte die Politik die Rahmenbedingungen nicht ändern und umsetzen und weiterhin F&E-Mittel einsetzen, werden die Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids Anlagen von Sunfire auf Prototypen-Niveau bleiben und keinen Weg in den Massenmarkt finden.

Optionen für (energie-)politische Maßnahmen zur Förderung der synthetischen Kraftstoffe könnten folgende sein:

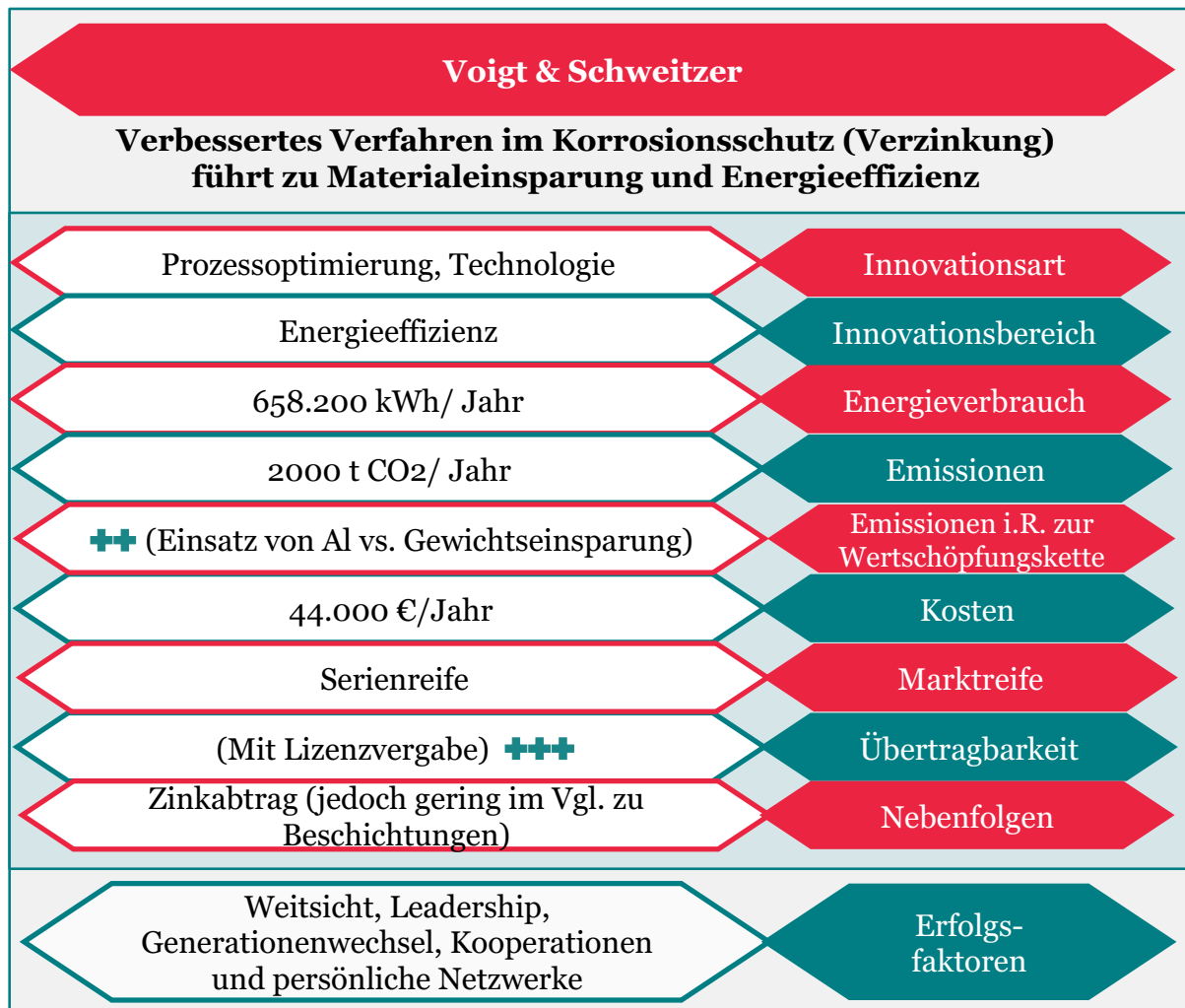
- Einführung einer Quotenvorgabe für synthetische Kraftstoffe („drop-in“), inkl. Sanktionen für Nichteinhaltung.
 - Senkung der Kosten (Letztverbraucherabgaben für Grünstrom, Prüfung der Notwendigkeit einer Mineralölsteuer für synthetische Kraftstoffe).
 - Anerkennung erneuerbarer Kraftstoffe auf die Flottenemissionen von Fahrzeugherstellern.
- Diese Maßnahmen und Anreize würden die Rahmenbedingungen für Investitionen in die Power-to-Gas und Power-to-Liquids-Technologien erhöhen und sollten aus Sicht des Wuppertal Instituts langfristig angelegt werden.

9.3.13 Quellen

Neben dem Interview mit einem Experten aus dem Unternehmen, wurden folgende Quellen für die Fallstudie herangezogen:

- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung. 2014. Treibstoff aus Ökostrom und CO₂. *Bundesministerium für Bildung und Forschung*. 14. November. <https://www.bmbf.de/de/treibstoff-aus-oekostrom-und-co2-760.html> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Energy Saxony e. V. 2016. SUNFIRE IST ERNEUT EIN GLOBAL CLEANTECH 100-UNTERNEHMEN. *Energy Saxony e. V.* 26. Januar. <http://www.energy-saxony.net/aktuelles/sunfire-ist-erneut-ein-global-cleantech-100-unternehmen.html> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Landeshauptstadt Dresden, Amt für Wirtschaftsförderung. 2015. sunfire: Der Energie auf der Spur. *Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Dresden*. http://invest.dresden.de/de/Foerderung_Service/Erfolgsgeschichten/Sunfire_2333.html (zugegriffen: 10. August 2016).
- Sommerlatte, Tom und Axel Schröder. 2015. *Innovationsführerschaft: Credo und Praxis*. 1. Auflage. Symposium Publishing. (zugegriffen: 8. Februar 2016).
- Sunfire GmbH. 2016. Press release: „Sunfire supplies Boeing with world’s largest commercial reversible electrolysis (RSOC) system“.
- Viehmann, Sebastian. 2016. Bis zu 85 Prozent weniger CO₂: Blue Crude soll das neue Diesel werden. *Focus Online*. 1. November. http://www.focus.de/auto/news/abgas-skandal/aus-kohlendioxid-und-wasser-bis-zu-85-prozent-weniger-co2-blue-crude-soll-das-neue-diesel-werden_id_5200939.html (zugegriffen: 8. August 2016).
- Weckbrodt, Heiko. 2014. Dresdner Brennstoffzellen-Firma „Sunfire“ bekommt Millionenspritze. *oiger*. 25. Februar. <http://oiger.de/2014/02/25/dresdner-brennstoffzellen-firma-sunfire-bekommt-millionenspritze/27407> (zugegriffen: 10. August 2016).
- Weckbrodt, Heiko. 2015. Sunfire Dresden beginnt Diesel-Produktion aus Luft, Wasser und Ökostrom. *oiger*. 21. April. <http://oiger.de/2015/04/21/sunfire-dresden-beginnt-diesel-produktion-aus-luft-wasser-und-oekostrom/84754> (zugegriffen: 10. August 2016).

9.4 Voigt & Schweitzer – microZINQ® und duroZINQ®



9.4.1 Beschreibung des Unternehmens

Die Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG (V&S) mit Hauptsitz in Gelsenkirchen ist eine europaweit tätige mittelständische Unternehmensgruppe mit Tätigkeitsschwerpunkt im Bereich der Oberflächenveredelung von Stahl. Sie ist spezialisiert auf die Gebiete der Stückverzinkung, Kleinteilverzinkung und Pulverbeschichtung. Das Unternehmen wird seit 2010 von der Fontaine Holding NV komplett im Familienbesitz geführt und beschäftigt etwa 2.000 Mitarbeiter an 35 Standorten in 5 Ländern (Voigt & Schweitzer GmbH

& Co. KG 2015b). Die Verzinkung ist das Aufbringen eines metallischen Überzuges aus Zink auf Stahl, welcher als Korrosionsschutz dient. Je nach Anforderungen an die Schutzdauer und die mechanische Belastbarkeit, können unterschiedliche Verzinkungsverfahren eingesetzt werden (Industrieverband Feuerverzinken e.V. 2016; Hastler 2016).

Die Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG investiert nicht in Technologien, die im Widerspruch zum Kreislaufgedanken der nachhaltigen Produktion feuerverzinkten Stahls bzw. dem cradle-to-cradle Potenzial von Feuerverzinken stehen. Jede Investition muss sich laut Unternehmen

selbstgestellten klaren Vorgaben im Bereich Energie- und Ressourceneffizienz stellen. Dies gilt für alle Unternehmensbereiche – vom CO₂-Verbrauch der Firmen-PKW-Flotte bis zum Einsatz von Wärmetauschern in der Produktion.

9.4.2 Marktüberblick

Verzinkungsbetriebe bestehen in Deutschland seit dem 19. Jahrhundert und es ging der Industrie über hundert Jahre sehr gut. Es gibt noch heute sehr viele Standorte, seit den 1990er Jahren herrschen jedoch massive Überkapazitäten und ein starker Preiskampf.

Typische Produkte der Stückverzinkungsindustrie sind nahezu alle Stahlanwendungen im Außenbereich. Hierzu gehören: Schutzplanken z.B. an Autobahnen, Balkongeländer, Treppenanlagen, PKW-Anhänger, LKW-Auflieger, Stahlhallen, moderne Stahl-Glas-Architektur und Parkhäuser. Laut dem Industrieverband Feuerverzinken e.V. gibt es etwa 160 Stückverzinkungsbetriebe in Deutschland. Das Produktionsvolumen im Jahr 2014 wird mit ca. 1,8 Mio. Tonnen stückverzinktem Stahl pro Jahr in Deutschland angegeben. Rund 80 Prozent dieses Volumens werden im Lohnauftrag feuerverzinkt. Der Branchenumsatz (Lohnverzinkung) in 2014 wird auf ca. 600 Mio. € (Umsatzhöhe wird stark vom volatilen Zinkpreis beeinflusst) geschätzt. Der Zinkverbrauch der Stückverzinkungsindustrie betrug im Jahr 2014 etwa 110.000 t. Es sind ungefähr 4.800 Menschen in der Stückverzinkungsindustrie in Deutschland beschäftigt.

Zink kann beliebig oft und ohne Qualitätsverluste recycelt werden. Die Recyclingquoten für Zink befinden sich schon

heute auf einem hohen Niveau und werden kontinuierlich gesteigert. Feuerverzinkter Stahl und die beim Feuerverzinken anfallenden Nebenprodukte wie Zinkasche und Hartzink werden recycelt und stehen danach wieder für das Feuerverzinken und zahlreiche andere Zinkanwendungen zur Verfügung. Zink ist ein wesentlicher Faktor, der das Feuerverzinken zu einem nachhaltigen Korrosionsschutzverfahren macht. Zur Zeit werden rund 30% des Zinkbedarfs durch recyceltes Zink gedeckt. Gemessen an der Menge des zum Recycling zur Verfügung stehenden Zinks liegt die Recyclingquote für Zink aktuell bei ca. 80 Prozent.

Zink für den Feuerverzinkungsprozess stammt aus zwei Quellen: Es wird einerseits Primärzink verwendet, das aus Zinkerz und zu rund 15 % aus Sekundärzink besteht. Daneben wird Umschmelzzink genutzt, das aus recycelten Bauzinkprodukten wie Dachrinnen hergestellt wird. Während bei der Herstellung von 1 kg Primärzink aus Erzen 50 MJ benötigt werden, wobei nur 20 MJ dieser Energie direkt in die Zinkproduktion gehen, fallen für die Produktion von 1 kg Umschmelzzink lediglich 2,5 MJ an. (Baron u. a. 2008)

Steigende Zinkpreise aufgrund knapper werdender Vorräte stellen keine Gefahr dar, da die Suche nach neuen Vorräten erst beginnt, wenn eine gewisse Mindestmenge unterschritten wurde. Ein Zinkmangel besteht also nicht. (DERA 2015)

9.4.3 Beschreibung der Innovationen (Art & Bereich)

Die Innovationen bei Voigt & Schweitzer lassen sich in zwei Bereiche unterscheiden:

1.) microZINQ® - Innovationsbereich Ressourceneffizienz.

Die Technik der klassischen Verzinkungsindustrie ist zu grob für viele Bauteile, bspw. im Automotive-Bereich. Dickere Zinkschichten halten bis zu hunderte von Jahren, was nicht zu dem Lebenszyklus eines Automobils passt. Dünnere Schichten sind effizienter, da durch sie Ressourcen und Gewichtseinsparungen erzielt werden können (Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH 2016).

Mit der Dünnschicht-Stückverzinkungstechnologie wird mit reduzierter Prozesstemperatur und mit einem um 80% verringerten Zinkeinsatz eine dünne Zinkschicht geschaffen, die das Gewicht des Zinksystems gegenüber dickschichtigeren Verzinkungen deutlich reduziert und weitere vorteilhafte Produkteigenschaften wie z.B. Korrosionsschutz aufweist (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2015b; Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH 2016).

Die Neuerung des weiterentwickelten Verfahrens liegt vor allem in der speziellen Vorbehandlung der Oberfläche, um eine vollständige Benetzung der Oberfläche unterschiedlicher Teile zu gewährleisten. Aufgrund der Verwendung der speziellen Zink-Aluminium Legierung kann die Schmelztemperatur auf 420 °C gegenüber den üblichen 450 °C abgesenkt werden.

Das Ergebnis ist eine dünne Zinkschicht mit einer Dicke von durchschnittlich circa 10 µm (Mikrometer) und eine höhere Energieeffizienz. Herkömmliche Stückverzinkungen haben im Vergleich dazu eine Dicke von etwa 50-150 µm. Der korrosionsschutztechnische Vorteil des Aluminium-Anteils in der Zinkschicht liegt in einer geringeren Abtragung des Zinks über die Lebensdauer des Bauteils in die Umwelt.

Zusätzlich zeichnet sich das weiterentwickelte Verfahren insbesondere durch eine stückverzinkungstypische, sehr hohe mechanische Belastbarkeit aus, die auf der metallurgischen Reaktion zwischen Stahl und Zinkschmelze basiert (ZINQ Technologie GmbH 2015).

2.) duroZINQ® - Innovationsbereich Cradle-to-Cradle

Das Produkt duroZINQ® ist für 95% des Umsatzes von V&S verantwortlich und wird sehr breit eingesetzt (bspw. Bauwesen, Treppengeländer, Fahrzeuganhänger Nutzwagen, Fahrzeuganhänger). duroZINQ® ist die Standard-Feuerverzinkung von Voigt & Schweitzer. Aufgrund des hohen Umsatzes von duroZINQ® hat sich V&S entschieden, mit diesem Produkt zuerst durch das Cradle-to-Cradle Products Innovation Institute zertifiziert zu werden und auf diese Weise Stoffströme sowie unternehmensinterne Abläufe zu optimieren (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2015a).

9.4.4 Energieverbrauch, Emissionen

Grundsätzlich waren bisher einige Bauteile, wie hochfester Stahl, nicht oder nur wenig für eine Stückverzinkung geeignet. Stattdessen boten sich für diese nur Beschichtungen (bspw. mit Kunststoffen, Lack, Kunstharze) an. Das Feuerverzinken weist gegenüber organischen Beschichtungssystemen jedoch eine verbesserte Ökobilanz und einen deutlich höheren Grad der Recyclingfähigkeit auf. Im Vergleich mit beschichtetem Stahl erreichen feuerverzinkte Stahlerzeugnisse eine höhere Haltbarkeit und es werden weniger Ressourcen bei verringerten Emissionen verbraucht (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2016a). Sowohl im Prozess als auch im Lebenszyklus verzinkter Produkte herrscht laut Unternehmen ein

hohes Maß an Kreislaufführung: Der Verzinkungsprozess ist weitgehend abwasserfrei und im Gegensatz zu organischen Beschichtungen immer lösemittelfrei. Abfälle werden wieder aufbereitet und verzinkte Bauteile können unter Rückführung des Rohstoffs Zink wiederverwertet werden.

Da die microZINQ-Technologie mit 80% weniger Zink und mit bis zu 50% weniger Gas als eine herkömmliche Verzinkung auskommt, spart diese technologische Innovation bis zu 500 t Zink pro Jahr. Durch den geringeren Gasverbrauch und den Wegfall von Transporten kann der CO₂-Ausstoß von V&S insgesamt um ca. 2.000 t im Jahr reduziert werden (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2015b).

Zudem beschreibt das Unternehmen seine Produktion als umwelteffizient mit Umweltstandards, die weit über das normativ Geforderte hinausgehen: So wurde in einem Projekt der weltweit erste CO₂-neutrale Produktionsprozess für den Bereich Feuerverzinken entwickelt (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG. 2016b). Mit weiteren im Unternehmen durchgeführten Maßnahmen zur Steigerung der Umwelteffizienz können seit 2006 jährlich etwa 660.000 kWh an Energie und 196 t CO₂ eingespart werden. Zu diesen Maßnahmen zählen z.B. die Umstellung des Antriebs der Ofendeckel von Druckluft auf eine elektrische Steuerung, sowie eine optimierte Steuerung der Ventilatoren im Trockenofen (Ökoprotit Interkommunal 2015).

Im Interview sagte ein Experte der F&E-Abteilung, dass die harte Grenze der Dekarbonisierung in der Produktion die Schmelze sei. Die Zinkschmelze ist ein

kontinuierlicher Prozess, der mit Erdgas befeuert wird und konstant auf 400°C + gehalten werden muss. Dieser Prozess kann theoretisch auf Biogas oder Strom umgestellt werden. Die dafür erforderlichen Investitionskosten seien für das Unternehmen jedoch zu hoch. Hier bestehen aus Unternehmenssicht politische Hürden in der Umsetzung – die Landespolitik müsste diese Technologie fördern und als Vorbild handeln. Die Unternehmen seien mit dieser Aufgabe allein überfordert (Interview V&S 2016).

9.4.5 Kostensenkungen

Die im Abschnitt Energieverbrauch, Emissionen genannten verschiedenen Umweltmaßnahmen führten zu Kosteneinsparungen von jährlich rund 44.000 € (Ökoprotit Interkommunal 2015). Über einhergehende interne Kostensenkungen durch die Entwicklung des microZINQ®-Verfahrens und des duroZINQ®-Verfahrens nach Cradle-to-Cradle gibt es keine Informationen.

9.4.6 Relevanz und Übertragbarkeit

Das microZINQ®-Verfahren bietet einen erhöhten Korrosionsschutz mit niedrigerem Materialbedarf. Hierbei liegen Potenziale sowohl im Bereich von Fahrzeugteilen (Pkw und Nutzfahrzeuge) als auch im Bereich zu transportierender Teile, wie zum Beispiel Gerüste, mobile Verkehrsrückhaltesysteme oder mobile Wandsysteme. Durch das Einsparen an Zinkschichtdicke werden die speziell verzinkten Bauteile und Karosserien etc. leichter gegenüber einem herkömmlich verzinkten Bauteil. Pro Fahrzeug können durch die geringere Zinkschichtdicke zirka 200 g Gewicht eingespart werden. Die mittlerweile fünf Millionen dünn-schichtver-zinkten Fahrzeuge können somit in ihrer Laufzeit etwa 8.500 Tonnen CO₂ einsparen (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG.

2015c). Durch das reduzierte Gewicht ergibt sich ein direkter Zusammenhang zur Einsparung von Energie und der Verringerung des Verschleißes.

Ein hemmender Faktor für die weitere Verbreitung von microZINQ® ist, dass die Käufer von Korrosionsschutzsystemen eher konservativ sind. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass Korrosion und Korrosionsschutzsysteme aufgrund der hohen technischen Komplexität langfristig analysiert werden müssen. Der Interviewpartner von V&S sagte hierzu, dass gemäß seiner Erfahrungen selbst ein hervorragendes System mit guten ökonomischen und ökologischen Eigenschaften die Käufer nicht notwendigerweise überzeuge, weil viele lieber bei den bekannten Technologien blieben (Interview V&S 2016).

Das Unternehmen vertreibt die Technologie mit Lizenzen sowie über Marken und Produkte. Aufgrund von 45 % Materialkosten im Gewerbe ermöglicht eine Einsparung an Material um 80 % deutliche Wettbewerbsvorteile. Durch Kapazitätsausweitungen beim microZINQ®-Verfahren kann V&S nun auch die Bedarfe der Kunden aus den Branchen Agrartechnik und Nutzfahrzeuge, Stahlbau und Verkehrs- und Energiewirtschaft bedienen, so dass das Unternehmen weitere Märkte für sein innovatives Produkt erschließt.

9.4.7 Förderungen

Das Unternehmen hat die Kapazitäten der microZINQ®-Herstellung erweitert, um einen wachsenden Markt für ressourceneffizienten und dauerhaft haltbaren Korrosionsschutz zu bedienen. Der Kapazitäten-Ausbau wurde von der Europäischen

Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung mit über 5 Mio. € gefördert. Das Unternehmen hat zudem eine Förderung von 1,7 Mio. € beantragt (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2015b). Insgesamt hat V&S in die Kapazitätserweiterung und die Sicherung des Produktionsstandortes Hagen, in welchem das microZINQ®-Verfahren angewendet wird, rund 8 Mio. € investiert.

In einem Experteninterview gibt ein Vertreter der F&E-Abteilung des Unternehmens an, dass V&S mit großen Forschungsprojekten bspw. von der EU eher negative Erfahrungen gemacht hat. Durch die langen Bewilligungszeiträume und die bürokratische Vergabe wurden in der Vergangenheit die Forschungsprojekte von der Zeit überholt. Häufig würde mit einer großen Perspektive gestartet, dann behinderten einen jedoch die fixen Forschungspläne, so dass die Ergebnisse der Forschungsprojekte am Ende selten unmittelbar nutzbar seien.

Letztendlich, so der Experte des Unternehmens weiter, würden dadurch viele Innovationen „sterben“, da keine passgenauen Förderungen vorhanden sind für Investitionen, für welche der Mittelstand die Mittel nicht in die Hand nehmen kann. (Interview V&S 2016)

9.4.8 Nebenfolgen

Zink kommt in der Natur meistens zusammen mit anderen unerwünschten Schadstoffen wie Blei und Schwefel vor. Der Abbau dieser Zinkverbindungen des sogenannten sulfidischen Zinks verursacht erhebliche Umweltschäden. Bei den herkömmlichen Verfahren werden die schwefelhaltigen Zinkerze in großen Öfen erhitzt und geröstet. So wird Schwefel frei, der sich mit Sauerstoff verbindet und in die Atmosphäre gelangt.

Bei V&S werden die abgearbeiteten Reinigungslösungen und die angereicherten Spüllösungen der Wiederaufbereitung zugeführt und ebenso wie die am Zinkessel entstehenden Stoffe, wie Zinkasche und Hartzink, recycelt. Das Unternehmen hat im Jahr 2013 für sein Produkt duroZINQ die Cradle-to-Cradle-Zertifizierung erhalten und wird seit 2011 von der EPEA (Environmental Protection Encouragement Agency) auf dem Weg zu Effizienzsteigerungen unterstützt (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2016b).

Der Experte von V&S wies im Interview auf den Zinkabtrag während der Nutzungsphase verzinkter Bauteile hin: Verzinkte Teile unterliegen durch mechanische und/ oder chemische Einwirkung einem Zinkabtrag. Je nach Abtragsmenge und lokaler Anreicherung kann hieraus eine Belastung für Organismen entstehen. In der Regel ist der Abtrag von Zink minimal und es findet keine schädliche Konzentration von Zink statt. Ganz im Gegensatz dazu stellen die Abtragsprodukte von organischen Beschichtungen (Lacke) als Konkurrenzprodukte zur Verzinkung in jedem Fall eine Umweltbelastung dar (Stichwort: Mikroplastik).

Die Reduzierung des Abtrages durch die Optimierung der Zinkschichtcharakteristik (höhere Beständigkeit, z.B. durch Legierungsbestandteile wie Aluminium) sowie durch Verringerung der korrosiven Belastung (z.B. Reduzierung der SO₂-Belastung) wird angestrebt und ist ein positiver Nebeneffekt der dargestellten Innovation.

9.4.9 Innovationsprozess

Die Verzinkungsindustrie sieht sich mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert: Die meist handwerklich geprägten Betriebe müssen die Balance finden zwischen der Herausforderung der steigen-

den Anforderungen eines sehr heterogenen Kunden- und Produktspektrums hinsichtlich Qualität, Logistik und Beratung auf der einen Seite und der Notwendigkeit der Standardisierung und Optimierung der Prozessabläufe auf der anderen Seite. (Pinger und Itasse 2013)

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, wurden die Verzinkungsverfahren microZINQ® und duroZINQ® durch zwei wesentliche Innovationsstrategien entwickelt:

- Individualisierung der Schichtdicke entsprechend der Bedürfnisse des Kunden (microZINQ®);
- Variation der Inhaltsstoffe der Zinkschmelze (duroZINQ®).

Die Individualisierung der Schichtdicke wurde durch die Ideen von dem geschäftsführenden Gesellschafter Lars Baumgürtel geprägt: Der Idealzustand ist, für jeden Kundenbedarf eine individuelle Zinkschicht anbieten zu können. Dies ist auch der Ausgangspunkt für microZINQ® mit der Besetzung der Verzinkungen im Automotive-Bereich.

Durch glückliche Umstände entstand ein Kontakt mit ThyssenKrupp und BMW. Dabei half auch die Diskussion des EU-weiten Verbots von Chrom VI. Mit BMW wurde eine Kleinserie aufgelegt. Dann wurde Ende 2004 die erste microZINQ®-Anlage fertiggestellt, basierend auf einem Großauftrag von BMW. Die Verzinkung für Komponenten wird dort ausgeführt und ist seit 2004 bei BMW gesetzter Standard für verzinkte Automobilteile.

Der interviewte Experte der F&E-Abteilung schätzt, dass V&S bei duroZINQ® einen klassischen Weg gegangen ist: Zunächst wurde die Effizienz gesteigert

gert und versucht, Zink durch dünnere Beschichtungen einzusparen. Anschließend ging der Blick auf das Qualitätsmanagement, Benchmarking und Ressourceneffizienz im Prozess. Dabei wurden die verschiedenen Energie- und Stoffströme analysiert. Danach wurde im Jahre 2011 neben der Effizienz auch die Effektivität durch C2C des Prozesses erhöht (Voigt & Schweitzer GmbH & Co. KG 2015a). Inzwischen sei es auch ein Ziel, einen „Kulturwandel“ im Unternehmen anzuregen. So hätten die C2C-Prinzipien die Diskussionskultur im Unternehmen gefördert und dazu geführt, dass nun auch ökonomische und ökologische Anliegen gegeneinander abgewogen würden. (Interview V&S 2016)

Für die Cradle-to-Cradle-Zertifizierung von duroZINQ® (Standard-Feuerverzinkung bei Voigt & Schweitzer) waren neben der Erhebung und Bewertung von prozess- und stoffrelevanten Daten die Unternehmenspositionen und -zielsetzungen hinsichtlich des Verbrauchs von Energie und Wasser sowie seiner sozialer Verantwortung darzustellen. Die abschließende Bewertung nach den Vorgaben des Cradle-to-Cradle Products Innovation Institute führte zur Erteilung des Cradle-to-Cradle-Zertifikates für duroZINQ® als weltweit erstem und einzigem Korrosionsschutzsystem. (Pinger und Itasse 2013)

9.4.10 Erfolgsfaktoren

9.4.11 Interne Treiber der Innovation:

Im Interview nennt der Experte aus der F&E-Abteilung von V&S drei wesentliche interne Erfolgsfaktoren für die erfolgreiche Realisierung der Innovationen:

- Weitsicht,
- Leadership,

- Generationenwechsel.
- Diese drei Faktoren kommen in der folgenden Beschreibung zum Ausdruck.

Weitsichtige und innovative neue Unternehmensführung:

Die Innovation von microZINQ® und die C2C-Zertifizierung von duroZINQ® sind maßgeblich Lars Baumgürtel, dem geschäftsführenden Gesellschafter von V&S und Enkel des Unternehmensgründers, zu verdanken. Er stieg Anfang der 1990er im Alter von 25 Jahren in die Unternehmensführung ein und half dem Unternehmen, durch technologische Innovationen neue Geschäftsfelder (Mikrozink für den Automotive Bereich) zu besetzen. Damit wurde begonnen, als noch eine relativ komfortable Marktsituation bestand.

Später ist die C2C-Zertifizierung von der Unternehmensführung über die Stabsstelle Nachhaltigkeit in das Unternehmen „reingedrückt“ worden. Der Generationenwechsel in der Unternehmensführung ist entscheidend gewesen für den frühzeitigen Wechsel von den klassischen Geschäftsfeldern der Verzinkungsindustrie zu Nutzfahrzeugen und der Automobilindustrie. Der Experte der F&E Abteilung sagte, dass das Alter von Herrn Baumgürtel eine Rolle bei diesem Wechsel des Geschäftsfeldes gespielt habe.

Gute Anschlussfähigkeit an C2C-Zertifizierungssystem:

Ein Erfolgsfaktor für die C2C-Zertifizierung ist, dass die Zinkindustrie sehr gut für die C2C-Zertifizierung geeignet ist, da Metalle bereits in sehr hohem Maße gesammelt und aufbereitet

werden. Eine Hürde war jedoch, dass das C2C-Institut nur Produkte zertifizieren möchte (und keine Prozesse). In Diskussionen argumentierte Prof. Braungart, Geschäftsführer der EPEA, dass duroZINQ® ein in sich geschlossener Prozess sei. Hier ist das Verhandlungsgeschick von V&S ein wichtiger Erfolgsfaktor gewesen: Das Gegenargument von V&S sei gewesen, dass sie mit duroZINQ® Stahl „verpacken“ – und Verpackungen hätte Prof. Braungart bereits mit C2C zertifiziert. In dem Prozess der Zertifizierung (2 Jahre) mussten relativ wenige unternehmensinterne Prozesse umgestellt werden.

Die Zertifizierung war und ist jedoch mit einer gewissen Schwierigkeit und einem recht hohen Aufwand in der internen Kommunikation verbunden, um das Thema C2C im Unternehmen zu verankern. C2C bezeichnet der Interviewpartner als „Glaubensfrage“, die letztlich sehr weit gehen kann: In der Ingenieursausbildung müsste nicht nur Konstruktion, sondern sollten auch modulares Design und Rückgewinnung (bspw. Urban Mining) behandelt werden.

9.4.12 Externe Treiber der Innovation:

Die **externen Faktoren** sind schwieriger zu identifizieren.

Kooperationen mit mittelständischen Unternehmen und Netzwerken helfen, Risiken zu reduzieren:

Das Unternehmen V&S hat laut des interviewten Experten gute Erfahrungen mit gemeinsamen Projekten mit anderen mittelständischen Unternehmen sowie in Projekten mit der Effizienzagentur gesammelt, weil man dort schnell agieren

könne. Dabei sieht der Experte von V&S Kooperationen mit mittelständischen Industrieunternehmen aus der Region als besonders erfolgversprechend an, da hier die Wege besonders kurz seien. Hier verfügt V&S über ein Netzwerk, in dem bei gemeinsamen Projekten Mittel und Risiken geteilt werden und in welchen in der Regel die Abhängigkeit der agierenden Kooperationspartner hoch ist.

Darüber hinaus können stärker institutionalisierte Netzwerke wie das Netzwerk Oberfläche NRW (NRWO!) einen Einstieg in entsprechende Unternehmens- und Wissenschafts-Communitys zu ermöglichen.

Im konkreten Fall von microZINQ® sowie der C2C-Zertifizierung hat NRWO! jedoch eine nachrangige Rolle gespielt.

Persönliche Kontakte:

Das Netzwerken, die gleiche Sprache und räumliche Nähe bezeichnet der Interviewpartner als besonders wichtig bei der gemeinsamen Entwicklung innovativer Prozesse und Produkte. Bei ersten Gesprächen steht neben der Frage, ob das Produkt oder das Projekt etwas bringt, im Vordergrund, ob die Personen einen guten Draht miteinander haben. Wenn der Vorgesetzte hier Kooperationen erzwingt, bei denen die handelnden Personen auf der Arbeitsebene im Prinzip nicht miteinander auskommen, sei die weitere Zusammenarbeit nicht vielversprechend.

Frühzeitige Besetzung neuer Märkte:

Der Ausgangspunkt für microZINQ® war die im Abschnitt Innovationsprozess beschriebene frühzeitige Besetzung der Verzinkungen im Automotive Bereich. Die Etablierung des innovativen Verfahrens bei großen Playern zentraler Branchen

(z.B. BMW) sowie steigende ökologische Anforderungen (EU Verbot von Chrom VI) bildeten hierbei Faktoren, die zur Verbreitung der Technologie führten.

In der Region NRW gibt es zudem schon Bestrebungen mit dem Wirtschafts- und Umweltministerium in Düsseldorf, das Land als Cradle-to-Cradle Standort (u.a. im Rahmen des Prozesses „Fortschritt NRW“) zu profilieren. Der Experte von V&S sieht die Umsetzung der C2C- Prinzipien als langfristigen Vorteil an, um später „vorne“ dabei sein zu können.

10 Annex 2: Welche Rahmenbedingungen den Erfolg von Innovationen beeinflussen: Die Rolle von Klimaschutz-Promotoren, Förderungen und Regionalität in Innovationsprozessen.

10.1 Effizienzagentur NRW

efa+ (NRW)				
Organisationsstruktur	Trägergesellschaft: prisma consult GmbH		30 Mitarbeiter an 8 Standorten in NRW	
Gründung	2003: Optimierung des gesamten Ressourcenverbrauchs von Unternehmen			
Finanzierung	Umweltministerium NRW			
Arbeitsweise und Angebote	Information: Veranstaltungen und Schulungen – auch um für Thema Ressourceneffizienz zu werben	Beratung 1: Optimierung von Produktionsprozessen	Beratung 2: Optimierung der Produktentwicklung	Finanzierungsberatung Begleitung einzelner Projekte in Unternehmen, ggf. inkl. externer Berater
Zielgruppe	Produzierende Unternehmen – Schwerpunkt KMU			
Innovationsarten	Vorwiegend spezifische Prozess und Produktinnovationen (Produktentstehungsprozess) inkrementell und radikal; erhaltend			
Beispiel	Alunorf: Spezifische Prozessinnovation	Walzwarme Aluminiumbänder ohne Temperaturverlust zur weiteren Verarbeitung in Öfen einfahren		

10.1.1 Ziele und Organisationsstruktur

Die Effizienz Agentur NRW (efa+) ist seit 1998 ⁷ im Auftrag des nordrhein-westfälischen Umweltministeriums tätig, um gerade mittelständischen Unternehmen bei der Erhöhung der Ressourceneffizienz zu unterstützen. Die efa+ hat 30 Mitarbeiter*innen in 8 Regionalbüros in NRW (s. Karte)



Abbildung 10-1 Standorte der acht Regionalbüros der efa+. Quelle: (Effizienz-Agentur NRW 2017)

⁷ <https://www.umwelt.nrw.de/klima-energie/wer-macht-was/effizienz-agentur-nrw/>

10.1.2 Projekte und Tätigkeiten

Einerseits informiert die EFA gemeinsam mit anderen Akteuren der Wirtschaft die Unternehmen über die Möglichkeiten des integrierten Umweltschutzes. Andererseits werden Unternehmen in der konkreten Entwicklung von Konzepten und Verbundprojekten unterstützt (Klinke 2013). Die Arbeit der efa+ gliedert sich in drei Tätigkeitsfelder:

- **Information:** Die efa+ führt allgemeine Veranstaltungen, Schulungen und Workshops durch, etwa zu aktuellen technische Entwicklungen, Best-Practice-Lösungen, Beratungsangeboten und Fördermöglichkeiten rund um das Thema Ressourceneffizienz. Neben dem vermitteln konkreter Informationen geht es bei diesen Veranstaltungen auch darum, das Thema Ressourceneffizienz im Gespräch zu halten und die efa+ bei Unternehmen bekannt zu machen, die von einer Beratung profitieren könnten.
- **Ressourceneffizienzberatung:** Der Schwerpunkt der Arbeit der efa+ liegt auf der fachlichen Beratung von Unternehmen. Seit ihrer Gründung hat die efa+ über 2000 Projekte durchgeführt⁸. Aktuell bietet die efa+ sowohl Beratungsangebote zur Optimierung von Produktionsprozessen als auch zur ressourceneffizienten Produktentwicklung an.
- **Finanzierungsberatung:** Finanzierungsexperten der efa+ unterstützen Unternehmen bei der Auswahl und ggf. auch bei der Antragstellung für ein passendes Förderprogramm. Häufig ist diese Beratung gekoppelt an ein (fachliches) Beratungsprojekt, in dem ein Unternehmen eine Idee für ein Forschungs- oder Entwicklungsvorhaben oder eine größere Investition entwickelt. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen sind in der Regel nicht in der Lage (mit vertretbarem Aufwand) aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Programme, das für sie geeignete zu identifizieren.

Der initiale Zugang der efa+ ist die Optimierung des Ressourcenverbrauchs von Unternehmen insgesamt. Hierbei ist der direkte Energieverbrauch zwar eine wichtige Ressource, jedoch wird der Ressourcenverbrauch insgesamt (also explizit auch der Materialverbrauch) als wichtiges Element angesehen, um CO₂ Emissionen zu mindern.

10.1.3 Stärken und Erfolgsfaktoren

Kontinuität

Die efa+ schätzt Kontinuität selbst als einen zentralen Erfolgsfaktor für Ihre Arbeit ein. Viele Beratungsinitiativen (auch solche die im Kern sehr positiv sind) leiden unter ihrer eigenen Kurzfristigkeit. "Bevor die jemand kennt, sind die wieder weg." Im Gegensatz dazu konnte sich die efa+ einen Namen und Renommee aufbauen. Die efa+ Berater sind in Netzwerken vertreten. Es gibt Mund-zu-Mund Propaganda zwi-

⁸ Eine Reihe von erfolgreiche efa+ Projekten sind in der efa+ Projektdatenbank dokumentiert: <http://www.ressourceneffizienz.de/praxis/best-practice-datenbank.html>

schen Unternehmer*innen, die die Beratung durch die efa+ als erfolgreich einschätzen. Auch andere Ansprechpartner der Unternehmen, wie etwa Banken, empfehlen den Unternehmen, dass diese sich doch ihren Ressourcenverbrauch ansehen sollten, um Kosten zu minimieren.

Möglich ist diese Kontinuität durch eine langfristige und verlässliche Finanzierung der efa+ durch das Land Nordrhein-Westfalen.

Regionale Nähe

Die efa+ ist mit acht Regionalbüros in NRW vertreten. Aus Sicht der efa+ ist diese notwendig, um Nahe an den Unternehmen zu sein und um die Hemmschwelle für den initialen Kontakt herab zu setzen. Nach Einschätzung der efa+ würden viele Unternehmen die Beratung der efa+ nur in Anspruch nehmen, wenn sie den Eindruck hätten, der Aufwand für die Beratung sei verhältnismäßig gering. Die Vorstellung ein Berater könnte das Unternehmen in etwa einer halben Stunde Autofahrt besuchen, helfe hier die Hemmschwelle zu reduzieren. Außerdem sind die lokalen Berater in den verschiedenen lokalen Netzwerken aktiv. Sie sind also vielen Unternehmen persönlich bekannt und können auch bei Veranstaltungen unverbindlich angesprochen werden. Auch hier wurde die Kontinuität der persönlichen Ansprechpartner als ein Erfolgsfaktor der efa+ benannt.

Grundsätzlich hat NRW hier einen Vorteil, weil es ein Bundesland mit hoher Bevölkerungs- und Unternehmensdichte ist. Auch ist es hier leichter, bei Bedarf, Unternehmen mit Partnern und Beratern aus der Nähe zusammen zu bringen.

Prozesswissen

Nach Selbsteinschätzung der efa+ liegt eine ihrer Stärken in ihrem Prozesswissen begründet. Die Berater der efa+ wüssten wie Unternehmen ticken und wie unternehmensinterne Prozesse ablaufen. Dieses Wissen führe dazu, dass die efa+ von Unternehmensvertretern als kompetente Berater wahrgenommen (und angefragt) werden. Zusätzlich verfügt die efa+ über Werkzeuge, mit denen Ressourcenverbräuche von Produktionsprozessen erfasst und bewertet werden können. Spezifisches technisches Wissen (etwa im speziellen Technologiefeld des Unternehmens) werden in der Regel durch Externe hinzu geholt. Dabei steht die Suche nach wirtschaftlichen Lösungen im Fokus aller Arbeiten der efa+.

10.2 Umweltkompetenzzentrum Rhein Neckar e.V. (UKOM)

UKOM (Rhein-Neckar)			
Organisationsstruktur	74 Mitglieder: Unternehmen, Institute, Verbände, Städte, Stadtwerke, Hochschulen, Privatpersonen;		3 festangestellte Mitarbeiter + ehrenamtliche Vereinsmitglieder
Gründung	2003: Bündelung der Umweltkompetenzen in der Metropolregion Rhein-Neckar (anfänglich kein industrieller Fokus)		
Finanzierung	Neben Mitgliedsbeiträgen im Wesentlichen durch Projektarbeiten mit Fördermitteln des Landes oder Bundes		
Arbeitsweise und Angebote	Intermediär Zusammenführen von Unternehmen für Netzwerke	Megatrends erkennen und für KMU greifbar machen, dadurch können sich mitunter auch gemeinsame Projekte ergeben	Beratung Anbahnungskosten für Unternehmen senken: Informationen über Förderprogramme und Unterstützung bei Antragsstellungen
Zielgruppe	Produzierende Unternehmen (individuelle wie auch im Verbund) – Schwerpunkt KMU		
Innovationsarten	Mittelbare Prozess- und Produktinnovationen v.a. in Querschnittstechnologien Inkrementell; erhaltend		
Beispiel	Firma <i>Unbekannt</i> : Unterstützung bei der Antragsstellung; Vorgeschlagen zum Förderpreis		Neue Anwendungsfelder von Steinpapier (Weinflaschen, Alufolie – Haare Färben)

10.2.1 Ziele und Organisationsstruktur

Das Umweltkompetenzzentrum (UKOM) wurde im Jahr 2003 mit dem Ziel gegründet, Umweltkompetenzen in der Metropolregion Rhein-Neckar zusammenzuführen und auszubauen. Diese Idee ist in den Räumen der Uni Heidelberg mit einem starken sozial- und kommunalpolitischen Fokus gegründet worden. Gedanke bei der Gründung war, durch die Vernetzung von Wirtschaft, Wissenschaft, Bildung, Verwaltung und Politik die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der gesamten Region zu verbessern und die regionale Umweltqualität zu erhöhen. Während früher der Fokus darin bestand, Umweltbewusstsein stärker in kleine produzierende Gewerbebetriebe hineinzubringen, sind mittlerweile die gesamte Industrie und Ressourceneffizienz-Aspekte in den Vordergrund gerückt.

Finanziert wird UKOM durch die Arbeit in Projekten. Daneben erhält UKOM Mitgliedsbeiträge seiner 76 Mitglieder sowie durch Spenden. Die Mitglieder sind Unternehmen, Verbände, Städte und Kommunen sowie Institute.

Der Ansatz den UKOM in seiner Arbeit verfolgt ist, Megatrends zu erkennen und für KMU greifbar zu machen. Hieraus bietet sich die Chance, gemeinsame Projekte zwischen Unternehmen (bspw. im Rahmen von LEEN-Netzwerken), aber auch in einzelnen Unternehmen zu initiieren. Eine Tätigkeit hierbei ist bspw. die Ressourceneffizienz im Unternehmen anhand der Energie-, Material- und Kostenströme technisch und ökonomisch zu erfassen. Unterstützt durch die Materialflusskostenrechnung können Unternehmensprozesse abgebildet und analysiert werden. Durch die vom baden-württembergischen Umweltministeriums für Unternehmen kostenlose Software kann der CO₂-Fußabdruck für einzelne Produkte und Prozesse ermittelt werden. Auch wird eine Verbindung der Themen Ressourceneffizienz und Industrie 4.0 geschlossen, um die Vision einer „Ultraeffizienz-Fabrik der Zukunft“ in Baden-Württemberg wahrwerden zu lassen. Das industrielle Leitmotiv dabei ist eine Produktion, bei der Rohstoffe möglichst vollständig verwertet und die dabei entstehenden Emissionen weitestgehend vermieden werden und somit auch eine Produktion im städtischen Umfeld möglich ist. UKOM fördert somit nicht direkt Innovationen in

Unternehmen, aber der Einfluss kann an unterschiedlichen Stellen indirekt und mittelbar wirken.

10.2.2 Projekte und Tätigkeiten

- **Klimaschutz-Promotoren zwischen Unternehmen:** Um Unternehmen für Netzwerke zusammenzuführen werden diese durch UKOM vermittelt. Hierbei wählt UKOM verschiedenste Formate, um die Vernetzung zu ermöglichen:
 - Ideenbrauereien: Interdisziplinäre Erfahrungs- und Ideenaustausch im Stammtischformat, um gemeinsam entwickelte Ideen zu den Themenschwerpunkten Produktion und technische Innovationen aufzugreifen und in konkrete Projekte umzusetzen.
 - Solarbootfrühstück: Ziel ist der Erfahrungsaustausch und gegenseitige Hilfestellung der Firmen aus der Region.
- **Plattform:** Mit dem Arbeitskreis Umwelt & Wirtschaft will UKOM den Unternehmen eine überbetriebliche intraregionale Plattform zur Verfügung zu stellen, auf welcher sich diese und ihre Leistungen im Umwelt- und Klimaschutz präsentieren können und somit neben einem Fachaustausch auch Best-Practice-Lösungen aufgezeigt werden.
- **Beratung, Moderation & Netzwerkträger:**
 - UKOM betreut die regionale Kompetenzstelle für Energieeffizienz (KEFF) und vermittelt dabei (vor allem kleinen und mittleren) Unternehmen kostenlose und unabhängige Energieberatungen, unterstützt bei der Einbindung in Unternehmensnetzwerke und der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. KEFF ist eine Initiative des Landes Baden-Württemberg.
 - UKOM ist darüberhinaus auch Netzwerkträger und Moderator der zeitlich befristeten LEEN-Netzwerke, deren Ziel die beschleunigte Steigerung der Energieeffizienz durch einen moderierten Erfahrungsaustausch ist.
 - Das lernende Unternehmensnetzwerk „Nachhaltiges Wirtschaften“ (NaWi) und NaWi + wurde vom BMBF gefördert und hat KMU bei der Einführung betrieblicher Umweltmanagementsysteme und Energieeffizienzsteigerungen unterstützt. Auch der Einbezug Jugendlicher wurde hierbei fokussiert, um diesen die Themen erneuerbare Energie, Energie- und Ressourceneffizienz, Mobilität, Wasser, etc. näher zu bringen.
- **Informationen:** Überblick über Förderprogramme für Unternehmen sowie auch in Teilen unterstützende Tätigkeiten bei Antragsstellungen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Dies geschah in der Vergangenheit beispielsweise durch:
 - Arbeitskreis Energie- und Ressourceneffizienz: Ziel war die Informationsbereitstellung an Unternehmen über Querschnittstechnologien, Fördermöglichkeiten und rechtliche Rahmenbedingungen.

10.2.3 Stärken und Erfolgsfaktoren

Unternehmensansprache "wo es wehtut" und durch wechselnde Zugänge

UKOM begegnet in seinen Aktivitäten der Herausforderung, dass aus Sicht der Unternehmen die Kosten für Netzwerkaktivitäten „gefühl“ oft hoch sind (Ressourcen und Zeitlimitierung der Unternehmen). Oftmals zeigen Unternehmen auch eine Resistenz gegenüber der Teilnahme an Veranstaltungen oder Projekten, da es teilweise eine hohe Anzahl von Angeboten zu einer vermeintlich „ähnlich klingenden“ Thematik gibt oder ein schlichtes Desinteresse der Unternehmen an dieser vorherrscht.

Grundsätzlich möchte UKOM dort anpacken, wo es den Unternehmen "wehtut" – dies sind oftmals die Themen Kosten oder neue gesetzliche Regelungen. Zum Teil ist es aber auch hier nötig, den Bedarf der Unternehmen für diese erst einmal sichtbar zu machen.

Außerdem versucht UKOM immer wieder über unterschiedliche Zugänge an die Unternehmen heran zu treten. Aktuell ist die Einschätzung von UKOM, dass die Thematik der Energieeffizienz oftmals bei Unternehmen gesättigt ist, wohingegen das Thema Materialverbrauch einen leichteren Einstieg bilden kann, über den letztlich auch das Thema Energieeffizienz wieder adressiert werden kann.

Den Unternehmen eine informelle Zusammenkunft zu ermöglichen mit einem Rahmen, welcher einen Austausch befördern kann, jedoch niemand dazu forciert wird, stellt einen weiteren Erfolgsfaktor der Tätigkeiten der UKOM dar.

Kenntnisse über Unternehmen

Es ist laut Angaben der UKOM wichtig, nicht ein schon mehrmals beworbenes kostenloses Beratungsangebot zur Verfügung stellen, sondern Unternehmen für Ideen auf andere Art und Weise zu motivieren. Hierbei geht es oftmals darum, neue Themengebiete zu identifizieren und aufzuzeigen – welche mitunter an ähnlichen Schnittstellen (wie bspw. Energieeffizienz) in den Unternehmen ansetzen. Hierbei ist es förderlich, die Unternehmen zu kennen und spezifische Andockpunkte für Unternehmen und deren Schwachstellen zu finden. Dies geht dann oftmals damit einher, den Unternehmen in Teilen auch Arbeiten abzunehmen bzw. einen Mehrwert zu generieren oder die Anbahnungskosten zu senken. Ein Beispiel hierfür sind Klimabilanzen für Automobilzulieferer: Wenn hier UKOM unterstützt, kann dies auch der Einstieg für weitere gemeinsame Schritte sein. Mit dem Wissen über die Bedürfnisse der Unternehmen können diesen auch Informationen über Förderprogramme zur Verfügung gestellt werden, bei Antragsstellungen unterstützt werden oder zu entsprechenden Kooperationspartnern oder anderweitigen Institutionen vermittelt werden.

Regionale Nähe

Bei den betreuten Lernenden Energieeffizienz-Netzwerken sieht UKOM die persönliche Begegnung der Unternehmen als Türöffner für einen Austausch, Kooperationen, gemeinsame Ideen und Innovationen. Während für größere Unternehmen ggf. brancheninterne Netzwerke von Relevanz sind und diese aufgrund vorhandener Ressourcen auch über große Entfernungen gut funktionieren können, so stellt die örtliche

Nähe bei den oftmals in der Region ansässigen heterogenen KMU eine wichtige Rolle dar. Gemeinsames Wissen dient dabei oftmals als gemeinsame Basis.

10.3 Energieavantgarde Anhalt

EAA			
Organisationsstruktur	Stiftungen, Institutionen, Stadtwerke, Unternehmen, Zivilgesellschaft		4 festangestellte Mitarbeiter + ehrenamtliche Vereinsmitglieder
Gründung	2015: Region zur Avantgarde werden lassen, indem ein regionales breites Akteursbündnis die Energiewende aktiv und selbstbestimmt mitgestaltet		
Finanzierung	Über Mitglieder und Stiftungen, projektbezogene Partner und Förderer (BMBF)		
Arbeitsweise und Angebote	Entwicklung eines regionalen Energiesystems: Last-Management, Entwicklung von Organisationsmodellen, Nutzung übersektoraler Synergieeffekte	Förderung von Innovationen und Entwicklung: Verbindung von Energie- und Stoffströmen, Pfadabhängigkeiten reduzieren	Partizipation & Vermittlung Einbindung und Engagement möglichst vieler Akteure und Bürger, Leuchttürme schaffen, Datentransparenz herstellen, Komplexität verständlich machen
	Berechnung Reallastgänge, Visualisierung Marktplatz, Erfassung Flexibilitätsoptionen	Kooperation mit Forschungsinstituten, Entwicklung von Prototypen	Energieforen, Kunstraum Energie, Denkfabriken, Salons
Zielgruppe	Breite Kooperationen mit allen regionalen Akteuren; Förderung von Start-Ups		
Innovationsarten	Geschäftsmodell- und Prozessinnovationen (soziale und gesellschaftliche) inkrementell + disruptiv		
Beispiel	Innovationswettbewerb Anhalt „POWER TO IDEA“		Unternehmensideen einen Beitrag zum regionalen und erneuerbaren Energiesystem

10.3.1 Ziele und Organisationsstruktur

Die Idee zur Energieavantgarde Anhalt (EAA) ist auf Initiative der Stiftung Bauhaus Dessau gemeinsam mit der Ferropolis GmbH im Jahr 2012 entstanden. Schnell ist daraus ein Akteursbündnis geworden, deren Vorreiter im Januar 2015 den gleichnamigen Verein gegründet haben. Das Akteursnetzwerk in der Region Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg arbeitet in Kooperation mit nationalen und europäischen Partnern an dem zukunftsfähigen Umbau des Energiesystems vor Ort. Das Netzwerk startet den Versuch, sich ohne staatliche Subventionen weitgehend selbst mit erneuerbarer Energie zu versorgen, die Energiewende aktiv und selbstbestimmt mitzugestalten, als Produzenten und Konsumenten zu bewussten Prosumenten zu werden. Mit der Entwicklung postfossiler Lebensstile, von Gestaltungsmustern und Raumstrukturen kann die Region erneut Avantgarde sein.

Ermöglicht wurden die ersten Schritte der Initiative durch die Unterstützung der Landesregierung Sachsen-Anhalts. Seit der Vereinsgründung wird die Arbeit des EAA e.V. durch Stiftungen (innogy und Heleakala Stiftung) sowie weitere, projektbezogene Partner und Förderer unterstützt. Zu den Letzteren gehört unter anderem das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms „Sozial-ökologische Forschung“. Partner und Unterstützer sind in der Region ansässige Städte, Gemeinden, Landkreise, Bürger und Bürgerinnen, Unternehmen sowie Stadtwerke (u.a. Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen und Dessau, Köthen Energie GmbH, Mitteldeutsche Energie AG, Tesvolt GmbH, Stadt Dessau-Roßlau und Landkreis Wittenberg), sowie regionale und überregionale Einrichtungen wie u.a. die Landesenergieagentur Sachsen-Anhalt, die Kooperation dynamis, das Wissenschaftszentrum Berlin und InnoZ.

Die angestrebte regionale Wertschöpfung soll zur lokalen Energiewende beitragen und allen Mitstreitern wie Kommunen, Unternehmen, Bürgern und öffentlichen Einrichtungen die Möglichkeit bieten, sich an dem Prozess zu beteiligen. Dafür notwendige technische, ökonomische und soziokulturelle Veränderungen gestalten Partner wie die Stadtwerke der Region, Unternehmen in der Branche der erneuerbaren Energien und viele Kommunen, darunter die Stadt Dessau-Roßlau, sowie der Land-

kreis Wittenberg gemeinsam. Dies wird von der EAA als „Reallabor Anhalt“ bezeichnet. Hauptelement bildet dabei der sogenannte Balancekreis (siehe Projekte und Tätigkeiten).

10.3.2 Projekte und Tätigkeiten

- Handlungsfelder:
 - Regionales Energiesystem: Etablierung eines Energiesystems zur nachfragegenauen Deckung des Energiebedarfs aus regenerativen Energien unter Maßgabe der Wirtschaftlichkeit.
 - Ziele: Verbesserung des Last-Managements, Entwicklung von Organisationsmodellen, Nutzung über-sektoraler Synergieeffekte, Verschränkung des Strom-, Wärme- und Mobilitätssystems
 - Maßnahmen: z.B. Berechnung Reallastgänge, Regionale Merit Ordner, Visualisierung Marktplatz, Erfassung Flexibilitätsoptionen
 - Innovation & Entwicklung: Gestaltung eines zukunfts offenen Innovations- und Transformationsprozesses unter Integration sozialer, kultureller, raumbezogener Neuerungen.
 - Ziele: Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung von Zukunftstechnologien und Informationstechnologien der Energiewirtschaft, Verbindung von Energie- und Stoffströmen, Pfadabhängigkeiten reduzieren
 - Maßnahmen: z.B. Kooperation mit Forschungsinstituten, Entwicklung von energietechnischen und –wirtschaftlichen Prototypen
 - Partizipation & Vermittlung: Regionale und aktivierende Kommunikation sowie Ansprache aller relevanten Akteure zur Teilnahme im weitergehenden Transformationsprozess.
 - Ziele: Erarbeitung von sozialen Innovationen, Einbindung und Engagement möglichst vieler Akteure und Bürger, Leuchttürme schaffen, Datentransparenz herstellen, Komplexität verständlich machen
 - Maßnahmen: z.B. Energieforen, Kunstraum Energie, Denkfabriken und Salons, Diskussionsveranstaltungen, Ansprache von Systemakteuren
- Projekte: Im Folgenden werden einzelne Projekte der EAA kurz vorgestellt.
 - Energieforum Anhalt: Das Energieforum ist ein regelmäßiges Partizipationsformat für regionale Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Medien mit Informationen und Konsultation, u.a. zur Vorbereitung des Accelerator Summer Camp 2017. Das Forum soll sicher stellen, dass die regionale Energiewende aus verschiedenen Perspektiven diskutiert wird und diese in den Projekten verankert ist und bleibt.
 - Die Energieforen stehen im Zusammenhang zu den in der Region bereits eingeführten Regionalforen und Regionalkonferenzen.
 - Regionaler Balancekreis: Das bisherige Modell eines Bilanzkreises beschränkt sich für Energieversorgungsunternehmen auf den Ausgleich von Verbrauch und Erzeugung ohne spezifischen räumlichen Kontext. An die Stelle der traditionellen Bilanzkreise tritt im Rahmen des Reallabors in Anhalt der regionale Balancekreis, der die komplexen dezentralen Austauschbeziehungen in Echt-

zeit abbilden kann. Dieser bereitet die Grundlagen für Handel und Nutzung dezentraler, regenerativer Energien in der Region und über diese hinaus. Für die Entwicklung eines regionalen Balancekreises ist es erforderlich, eine präzise Analyse des Ist-Zustandes vorzunehmen und alle bestehenden Energieflüsse der Region Sektoren-übergreifend und zeitgenau abbilden, nachvollziehen und verstehen zu können. Einige der hierfür benötigten Daten sind bereits verfügbar und können unmittelbar von Partnern aus der Region geliefert werden. Im Bereich Mobilität müssen zusätzlich regionalspezifische Primärdaten erhoben werden. Aus der Vielzahl von Daten lässt sich eine solide Planungsgrundlage für die Sektorkopplung, d.h. die Integration von Strom, Wärme und Mobilität, ableiten, die zugleich als Bewertungsmaßstab für konkrete Maßnahmen innerhalb des regionalen Energiesystems (Zubau, Repowering, Speicherung etc.) dienen kann. Eine Online-Visualisierung soll die Idee des regionalen Balancekreises und das komplexe Thema Sektorkopplung anschaulich und begreifbar werden lassen.

- Innovationswettbewerb Anhalt „Power to Idea“: Neun Jungunternehmer*innen, die sich in der Frühphase ihres Unternehmertums befinden und mit ihren Unternehmensideen einen Beitrag zum regionalen und erneuerbaren Energiesystem leisten wollen, haben sich an diesem Wettbewerb im Juni/Juli 2017 beteiligt.
- Die Denkfabrik Energieavantgarde dient zur Vernetzung und zur Weiterentwicklung von Ideen, die besonders innovative Beiträge zur Verwirklichung des regionalen Energiesystems leisten und technische wie soziale Innovation umfassen. Die EAA geht davon aus, dass die regionale Energiewende durch inkrementelle wie durch disruptive Innovationen beeinflusst sein kann, welche es zu identifizieren gilt. Regionale und überregionale Innovatoren wählen dazu Projekte aus, die die Transformation als technische Herausforderung sowie als gesellschaftliche Aufgabe begreifen. Die letzte Denkfabrik fand im Sommer 2016 statt.

10.3.3 Stärken und Erfolgsfaktoren

Region als Transformationsobjekt

Da die Transformation der Region selbst im Vordergrund der EAA steht, ist somit die Nähe der Akteure entscheidend, für die konkrete Problembewältigung vor Ort. Das Reallabor Anhalt stellt dabei einen regionalen Experimentierraum dar.

Freiraum

Bei der Realisierung des Reallabors Anhalt gibt die EAA die Langfristigkeit und Sicherheit der Finanzierung als wichtige Erfolgsfaktoren an. Dabei sei es wichtig die Unabhängigkeit durch öffentliche und gemeinnützige Finanzierung zu bewahren und somit Freiräume in den Aktivitäten auszubilden. Überdies sei es wichtig, die Herausforderungen zu identifizieren und mit der Umsetzung von Projekten konkrete Lösungsmöglichkeiten zu entwickeln. Auch der Zugang zu politischen Informationen über Stiftungen und überregionale Netzwerke wie WindNODE ist wichtig für die EAA.

10.4 LEEN – Lernende Energieeffizienznetzwerke

Lernende Energieeffizienz-Netzwerke (LEEN)			
Organisationsstruktur	LEEN GmbH ist ein Joint-Venture der IREES GmbH und der Fraunhofer Gesellschaft e.V.		2 Mitarbeiter + Netzwerkträger
Gründung	2009: Unterstützung und Weiterentwicklung des Netzwerkkonzept „30 Pilot-Netzwerke“		
Finanzierung	Förderung der Netzwerke durch BMUB; Beiträge der beteiligten Unternehmen am Netzwerk		
Arbeitsweise und Angebote	Beratung Energetische Bewertung, Energieeffizienz-Monitoring, Beratung zur Einführung eines Energiemanagementsystems, Lizenzierte Nutzung des LEEN-Managementsystems.	Managementsystem Netzwerke, die auf bestimmte Größe bzw. Energiekosten von Unternehmen ausgerichtet sind. Sowie kommunale, brancheninterne und konzerninterne Netzwerke	Plug'n'Play Anwendung für Unternehmen zur zentralen Planung, Kontrolle und Monitoring von Effizienzmaßnahmen, um Maßnahmen über alle Unternehmensebenen nachzuverfolgen.
Zielgruppe / Partner	Unternehmen (von KMU bis Konzerne mit verschiedensten Energiekostenstrukturen), Kommunen		
Innovationsarten	Prozessinnovationen v.a. in Querschnittstechnologien (Effizienzsteigerungen) Inkrementell, erhaltend		
Beispiel	Michelin: inkrementelle Prozessinnovation	Einsatz von geregelten Pumpen: Regelung erfolgt nun nach tatsächlich benötigtem Druckniveau	

10.4.1 Ziele und Organisationsstruktur

„Lernenden Energieeffizienz-Netzwerke“ (LEEN) sollen einen Beitrag für die mittelständische Wirtschaft zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz leisten: Die Emissionsminderungen sollen kostengünstig und breitenwirksam erschlossen werden sowie für den Handelnden gleichzeitig rentabel sein. Ein lernendes Netzwerk wird bspw. durch einen Energieversorger, eine Wirtschaftsplattform, eine Kommune oder eine IHK initiiert – dieser Initiator sucht etwa ein Dutzend geeignete Unternehmen als Teilnehmende für das zu entstehende Netzwerk. In der Regel ist der Initiator auch der spätere Netzwerkträger, das heißt der Verantwortliche für den gesamten Ablauf des Netzwerks. Ein zertifizierter Moderator übernimmt die Organisation der regelmäßigen Treffen. Zudem steht jedem Netzwerk ein ebenfalls zertifizierter energietechnischer Berater zur Seite, der sich auf geprüfte Berechnungshilfen stützen kann.

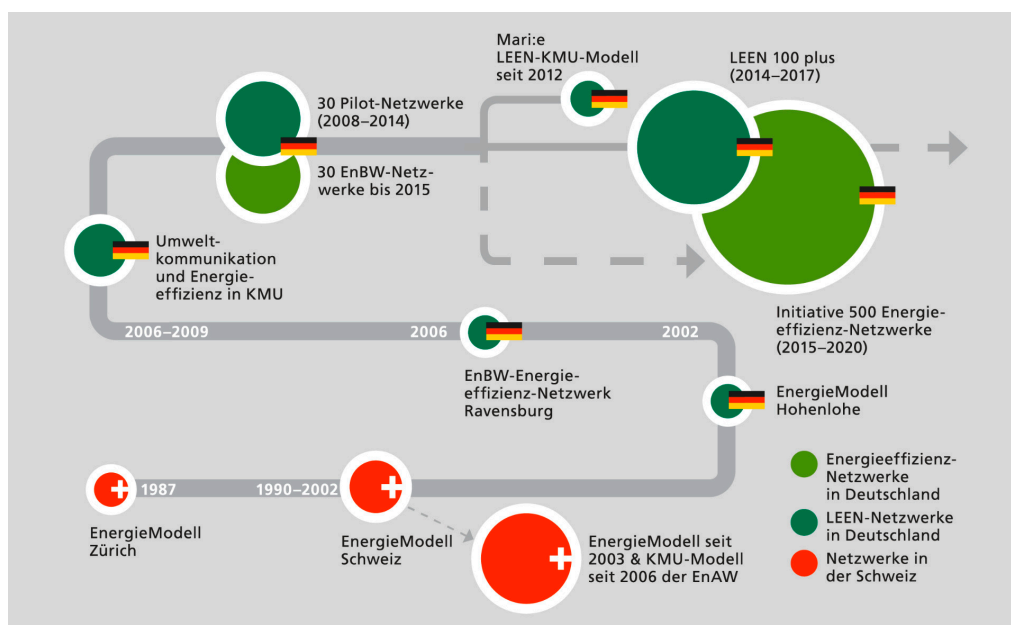


Abbildung 10-2 Entstehungsgeschichte der Energieeffizienz-Netzwerke. Quelle: (Fraunhofer ISI 2017)

Die Idee geht zurück auf Energienetzwerke in der Schweiz, die dort in den 80er und 90er Jahren eingeführt wurden. In Deutschland seit 2002 eine Reihe von Pilot Netzwerken umgesetzt. Seit 2014 fördert das Bundesumweltministerium (BMUB) die breite Einführung von LEEN Netzwerken im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative mit dem Programm LEEN 100 Plus. Im Dezember 2014 haben Bundeswirtschaftsminister Sigmar Gabriel und Bundesumweltministerin Dr. Barbara Hendricks zusammen mit den führenden Verbänden und Organisationen der deutschen Wirtschaft eine Vereinbarung über die Gründung von Energieeffizienz-Netzwerken unterzeichnet. Insgesamt sollen bis Ende 2020 rund 500 Energieeffizienz-Netzwerke von Unternehmen initiiert und durchgeführt werden.

Die LEEN Netzwerke werden in der Initiierung- und Startphase seitens des Fraunhofer ISI, der Stiftung für Ressourceneffizienz und Klimaschutz (STREKS) und des IREES unterstützt. Zur Betreuung, Durchführung, Verbreitung und Entwicklung der Netzwerke sowie des LEEN Managementsystems wurde im Jahre 2009 ein Joint-Venture der IREES GmbH und der Fraunhofer Gesellschaft e.V – die LEEN GmbH gegründet. Darüberhinaus berät begleitet das Unternehmen den Zertifizierungsprozesses in Unternehmen zur DIN EN ISO 50001 bzw. DIN EN 16247. Die Initiative Energieeffizienznetzwerke werden darüber hinaus von der Deutschen Energie Agentur (dena) koordinierend unterstützt.

10.4.2 Projekte und Tätigkeiten

Ein zentraler Ansatzpunkt der LEEN Netzwerke ist es rentable Effizienzpotentiale breitenwirksam zu erschließen. In jedem Betrieb gibt es viele solcher rentablen Investitions- und Organisationsmöglichkeiten, die Energiekosten durch eine effizientere Nutzung der Energie zu senken. Oftmals sind diese dem Energieverantwortlichen zum Teil bekannt, aber die Zeit für die Vorbereitung und Auswahl der Investitionslösung ist häufig nicht vorhanden. Ein Gedanke hinter den Netzwerken ist, dass durch den regelmäßigen moderierten Erfahrungsaustausch, die vielen rentablen Effizienz-Potentiale schneller und mit geringerem Aufwand verfügbar gemacht werden können.

Die Evaluation des Projekts „30 Pilot-Netzwerke“ (2009-2013) zeigte, dass der Beitrag von Unternehmen an Emissionsminderungen durch solche Netzwerke erheblich sein kann. So konnte eine Verdopplung des energetischen Fortschritts gegenüber dem Bundesdurchschnitt der Industrie festgestellt werden (durchschnittlich 2,1 %/a Steigerung der Energieeffizienz und 2,3 % Minderung der CO₂ –Emissionen).

- **Beratung:** Energetische Bewertung, Energieeffizienz-Monitoring, Beratung zur Einführung eines Energiemanagementsystems
- **LEEN-Managementsystem:** Um den unterschiedlichen Bedürfnissen von Unternehmen aufgrund ihrer Energiekosten und Größe gerecht zu werden, werden differenzierte Instrumente angeboten:
 - LEEN-classic: Richtet sich an Unternehmen und Einrichtungen mit jährlichen Energiekosten über 500.000 EUR.
 - LEEN-compact: Für Unternehmen und Einrichtungen mit jährlichen Energiekosten zwischen 150.000 und 500.000 EUR. Mit dem Modell Mari:e (2013-2015) wurde speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) eine Möglichkeit zur Netzbildung entwickelt.
 - LEEN-kommunal: Netzwerke für teilnehmende Kommunen mit jährlichen Energiekosten zwischen 150.000 und 2 Mio. EUR (bzw. 5.000 bis 200.000 Einwohnern.)
 - Branchen-Netzwerke, die sich in solchen Branchen- oder Unternehmensgruppen bilden können, in denen Unternehmen nicht über die Energiekosten im Wettbewerb stehen
 - konzerninterne Netzwerke, in denen sich mehrere Produktionsstandorte des gleichen Konzerns zu einem Netzwerk zusammenschließen
- **Monitoring:** Mit der Plug'n'Play Anwendung „LEEN Cycle“ können Unternehmen umgesetzte Effizienzmaßnahmen über alle Unternehmensebenen wirtschaftlich und technisch nachverfolgen, zentral planen und kontrollieren sowie lokal bestehende Audits und Maßnahmen zusammenführen.

10.5 VDI Zentrum Ressourceneffizienz

VDI Zentrum für Ressourceneffizienz (VDI ZRE)			
Organisationsstruktur	Unternehmen der VDI Gruppe -		
Gründung	2009: Unternehmen – insbesondere KMU – sollte das nötige Wissen zu Ressourceneffizienz zur Verfügung gestellt werden		
Finanzierung	Aus Mitteln der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministerium		
Arbeitsweise und Angebote	Entwicklung und Bereitstellung von kostenlosen Instrumenten: Ressourcenchecks, Prozessketten, Kostenrechner, Innovationsradar, Gute-Praxis-Beispiele von Produktions- und Fertigungsverfahren einzelner Branchen, Kurzfilme	Servicestelle zur Beantwortung von Fragen zu Beratungs- und Fördermöglichkeiten auf regionaler, nationaler und EU-Ebene: Kooperationen mit regionalen Wirtschafts- und Industrieverbänden, IHKs sowie mit Effizienzagenturen, Wirtschaftsförderungen und kommunalen Organisationen	Studien, Fachgesprächen und Module für Hochschulen + Weiterbildungsinstitute: Studien zu Potenzialen und Chancen im Bereich Ressourceneffizienz; Kurzstudien zu aktuellen Technologien. 90-minütige Moduleinheiten für Hochschulen
Zielgruppe / Partner	Produzierende Unternehmen – Schwerpunkt KMU; Bildungsangebote für (zukünftige) Mitarbeiter		
Innovationsarten	Prozessinnovationen in Querschnittstechnologien („periphere“ Bereichen) und spezifischen Prozessen Inkrementelle Innovationen (als Türöffner)		

10.5.1 Ziele und Organisationsstruktur

Das VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE) wurde im Jahr 2009 gegründet. Es ist ausführendes Unternehmen des Auftrags „Kompetenzzentrum Ressourceneffizienz 2015-2019“ im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des BMUB. Nach einer im Jahr 2015 im Auftrag des VDI ZRE erstellten Studie meinen nur 27 Prozent der KMU, dass die Einsparpotenziale in der eigenen Branche ausgeschöpft sind (von Wecus und Willeke 2015). Allerdings haben KMU im Vergleich zu Großkonzernen im Tagesgeschäft meist keine eigenen Kapazitäten, um sich mit Innovationen und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu befassen. Gerade KMU sollen somit das nötige Wissen zu Ressourceneffizienz zur Verfügung gestellt bekommen. Das VDI ZRE entwickelt im Rahmen des BMUB-Auftrags daher Instrumente, die Unternehmen helfen, Maßnahmen für mehr Ressourceneffizienz umzusetzen. Die praxisbezogenen Angebote des VDI ZRE sind kostenfrei und branchenspezifisch. Dieser Wissensfundus soll Unternehmer*innen Ideen liefern, mit welchen Maßnahmen der Material- und Energieverbrauch gesenkt werden kann, um die Kosten des Betriebes nachhaltig zu reduzieren, erfolgreicher zu wirtschaften und gleichzeitig die Umwelt zu entlasten.

Das VDI ZRE kooperiert eng mit den VDI-Fachgesellschaften und den VDI-Regionalorganisationen. Dadurch ist das Zentrum mit dem Netzwerk der über 12.000 ehrenamtlich aktiven Mitglieder des VDI verbunden.

10.5.2 Projekte und Tätigkeiten

- Entwicklung und Bereitstellung an Unternehmen von **Arbeitsmitteln und Instrumenten** für mehr Ressourceneffizienz: Ressourcenchecks, Prozessketten, Kostenrechner, Innovationsradar, Gute-Praxis-Beispiele, Webvideomagazin, Qualifizierungsmaßnahmen für Berater und Unternehmensmitarbeiter
- Strukturierung von Fachwissen nach **Branchen und Technologien** (Bauwesen, Chemie, Metallherzeugung und -verarbeitung, ..)
- **Servicestelle** Ressourceneffizienz zur Beantwortung von Fragen rund um das Thema Ressourceneffizienz
- Durchführung von regionalen „Ressourceneffizienz vor Ort“ Veranstaltungen durch Kooperation mit Partnern aus dem Netzwerk Ressourceneffizienz r z.B. mit Wirtschaftsverbänden, IHK, Handwerkskammern, regionale Unternehmensnetzwerken, kommunalen Wirtschaftsförderern und Beratungsagenturen der Bundesländer)
- Durchführung von **Studien** (Potenziale und Chancen im Bereich Ressourceneffizienz) und **Kurzanalysen** (über aktuelle Technologien)
- **Fachgespräche** zum Thema Ressourceneffizienz mit Experten aus Wissenschaft und Praxis
- Ausarbeitung von **Modulen für Hochschulen** und berufliche Weiterbildungen (bspw. TÜV) zu Ressourceneffizienz
- Partner zu: Industrie-Club, Kompetenzpool, VDI e.V., Netzwerk Ressourceneffizienz, PIUS-Netzwerk

10.5.3 Stärken und Erfolgsfaktoren

Auf Bedürfnisse von KMU zugeschnitten

Die Erfahrungen des VDI ZRE zeigen, dass starke Netzwerke und eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit wichtig sind: Wenn ein Unternehmen mit einer Frage kommt, muss man schnell helfen können – je nach Art der Anfrage durch konkretes Fachwissen, allgemeine Informationen, Förderhinweisen oder der Weitervermittlung an entsprechende Akteure. Oft haben Unternehmen schon ein sehr konkretes Anliegen, auf das sie schnell eine Antwort brauchen.

Dabei ist es auch wichtig aufzuzeigen, welche Möglichkeiten ein Austausch zwischen Unternehmen bietet. Dies sei, so nach Aussagen der VDI ZRE, wichtig, da es überzeugend sei, wenn Unternehmen von gegenseitigen Innovationsentscheidungen untereinander erfahren („Das Unternehmen hat das gemacht und ist das Risiko eingegangen und es hat funktioniert“).

Prozesswissen

Die Steigerung der Ressourceneffizienz bei Produktionsprozessen erfordert meist ein sehr spezifisches ingenieurtechnisches Prozesswissen. Im VDI ZRE arbeiten daher Ingenieure verschiedener Fachrichtungen eng zusammen. Durch die enge Vernetzung mit den VDI-Fachgesellschaften können bei Bedarf auch externe Experten herangezogen werden. Das VDI ZRE verfügt daher über Werkzeuge, mit denen Ressourcenverbräuche und Materialflüsse von Produktionsprozessen branchen- und technologiespezifisch erfasst und bewertet sowie in einen ökonomischen Zusammenhang gebracht werden können.

Durch ein breites Portfolio an Themen und Arbeitsmitteln hilft das VDI ZRE kleinen mittleren Unternehmen, schnell Ressourceneffizienzpotenziale zu erkennen und zu realisieren, die für ihre jeweiligen betrieblichen Prozesse relevant sind.

Türöffner und Vermittler zu Beratungen

Viele Unternehmen, vor allem KMU, haben nicht die Datenlage um Materialströme zu analysieren und bewerten zu können. Mit dem sog. „Kostenrechner“ und den Ressourcenchecks können die Unternehmen erste Abschätzungen machen, auf Basis derer eine Entscheidung gefällt werden kann, ob und inwiefern eine Beratung nötig ist oder entsprechende Maßnahmen sinnvoll sind. Das VDI ZRE fungiert dabei in der Regel als Türöffner für KMU – eine Einzelberatung ist eher der Ausnahmefall. Über sein Netzwerk vermittelt das VDI ZRE Beratungsstellen vor Ort, die dann weiter helfen können. Der erste Einstieg in das Thema Ressourceneffizienz erfolgt in der Regel vor allem über inkrementelle Innovationen.

11 Literaturverzeichnis

- BiPRO GmbH. 2014. Analyse von Ressourceneffizienzpotenzialen in KMU der chemischen Industrie. München: VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH.
- BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. 2017. Innovation - Beratung - Förderung. *demea*. <http://www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Navigation/DE/Demea/demea.html>.
- Christensen, Clayton M. 1997. *The innovator's dilemma : when new technologies cause great firms to fail*. The management of innovation and change series. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
http://dl4a.org/uploads/doc/The_Innovators_Dilemma.pdf (zugegriffen: 1. Januar 2016).
- Dreher, Prof. Dr. Carsten. 2013. Innovationsforschung und –management für den Master Zukunftsforschung. Seminar. Gehalten auf: Seminar: Innovationsforschung und –management für den Master Zukunftsforschung, 22. November, Berlin.
- Effizienz-Agentur NRW. 2017. efa+. *Das Kompetenzzentrum für Ressourceneffizienz in NRW*. <http://www.ressourceneffizienz.de/effizienz-agentur-nrw.html>.
- Fraunhofer ISI, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung. 2017. Historie der Energieeffizienz-Netzwerke. *energieeffizienz netzwerke*. <https://www.energie-effizienz-netzwerke.de/een-de/netzwerkidee/historie.php>.
- Graichen, Dr. Patrick, Frank Peter und Philipp Litz. 2017. Das Klimaschutzziel von - 40 Prozent bis 2020: Wo landen wir ohne weitere Maßnahmen? Eine realistische Bestandsaufnahme auf Basis aktueller Rahmendaten. Berlin: Agora Energiewende. https://www.agora-energienewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora_Analyse_Klimaschutzziel_2020_07092016.pdf.
- Grothe, Anja. 2011. Nachhaltiges Wirtschaften für KMU Ansätze zur Implementierung von Nachhaltigkeitsaspekten. München: Oekom Verlag. (zugegriffen: 11. Oktober 2016).
- Heyen, Dirk Arne, Lukas Hermwille und Timon Wehnert. 2017. Out of the comfort zone! : Governing the exnovation of unsustainable technologies and practices. <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/6913> (zugegriffen: 31. Januar 2018).
- Hillebrandt, Katharina, Sascha Samadi und Manfred Fishedick. 2015. Pathways to deep decarbonization in Germany. SDSN-IDDRI: Wuppertal Institut.
- Horton, Graham. 2016. Innovationsarten: Unsere Definitionen. *Zephram - Impulse für Innovation*. <http://www.zephram.de/blog/innovation/innovationsarten-definitionen/> (zugegriffen: 1. Januar 2016).

- IEA und AIE. 2017. *Energy Technology Perspectives 2017: Catalysing Energy Technology Transformations*. IEA; AIE.
- Klein, Oliver, Christine Marie Gronemeyer, Sascha Maschinski und Karl Martin Born. 2016. Promotoren in regionalen Innovationssystemen – Drei Fallbeispiele aus Nordwestdeutschland. *Raumforschung und Raumordnung* 74, Nr. 5 (Oktober): 405–419. doi:10.1007/s13147-016-0416-5, .
- Klewitz, Johanna und Erik G. Hansen. 2014. Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review. *Journal of Cleaner Production* 65 (Februar): 57–75. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.017, (zugegriffen: 17. Januar 2017).
- Klinke, Sebastian, Hrsg. 2013. *RessourcenKultur: Vertrauenskulturen und Innovationen für Ressourceneffizienz im Spannungsfeld normativer Orientierung und betrieblicher Praxis ; [Konferenz RessourcenKultur ... am 21./22. Juni 2012 in Bremen]*. 1. Aufl. Nachhaltige Entwicklung 4. Baden-Baden: Nomos Verl.-Ges.
- Knöchelmann, Marcel. 2014. Disruptive Innovation: Clayton Christensens Ansatz. *Lepublikateur*. 3. April. <http://www.lepublikateur.de/2014/04/03/disruptive-innovation-clayton-christensens-ansatz/> (zugegriffen: 11. Januar 2016).
- Lefenda, Dr. Johann und Gerlinde Pöchlacker-Tröscher. 2014. Radikale Innovationen und disruptive Technologien Chancen für die oberösterreichische Wirtschaft. Linz: Pöchlacker Innovation Consulting GmbH und ACADEMIA SUPERIOR - Gesellschaft für Zukunftsforschung. http://www.academia-superior.at/uploads/tx_news/2015_Radikale_Innovationen_Basisdossier.pdf.
- Mölter, Helena. 2017. Innovationen in familiengeführten KMU (kleine mittlere Unternehmen): Analyse der Motivation für Innovationen in Richtung einer sozial-ökologischen Transformation anhand von Fallstudien. Masterarbeit, Berlin: TU Berlin, 29. Mai.
- Mölter, Helena, Georg Kobiela, Daniel Vallentin und Timon Wehnert. 2017. Formate zur Unterstützung von Transformations - und Innovationsprozessen in Unternehmen. Virtuelles Institut „Transformation – Energiewende NRW“ Cluster „Transformation Industrieller Infrastrukturen“. Wuppertal und Berlin: Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. http://www.vi-transformation.de/wp-content/uploads/2017/04/M%C3%B6lter_Formate-Innovationsprozesse.pdf.
- Pehnt, Dr. Martin, Barbara Schlomann, Friedrich Seefeldt und Dr. Ulrike Lehr. 2011. Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative. Endbericht. Heidelberg, Karlsruhe, Berlin, Osnabrück, Freiburg: IFEU, Fraunhofer ISI, Prognos, GWS. https://www.ifeu.de/energie/pdf/NKI_Endbericht_2011.pdf (zugegriffen: 9. August 2017).
- Rennings, K. 2000. Umweltfreundliche Innovationen in Unternehmen - Messung, Determinanten, Wirkungen -. Gehalten auf: Jahrestagung des Ausschusses „Umwelt- und Ressourcenökonomik“ des Vereins für Socialpolitik, Cottbus.
- UBA, Umweltbundesamt. 2016. Emissionsquellen. *Umweltbundesamt - Treibhaus-*

gas-Emissionen. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen> (zugegriffen: 27. September 2016).

Vahlenkamp, Thomas, Leo Birnbaum, Anja Hartmann, Kalle Greven und Christian Malorny. 2007. Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. McKinsey & Company.
<http://www.wirtschaftsfuerklimaschutz.eu>.

von Hauff, Prof. Dr. Michael und Dr. Alexandro Kleine. 2009. *Nachhaltige Entwicklung. Grundlagen und Umsetzung*. München: Oldenbourg Verlag.

von Wecus, Axel und Katja Willeke. 2015. Status quo der Ressourceneffizienz im Mittelstand - Befragung von Unternehmensentscheidern im verarbeitenden Gewerbe 2015. Studie. Berlin: VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH. (zugegriffen: 6. Oktober 2017).